



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E  
GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM UMA  
ÁREA DE MANGUEZAL NA PLANÍCIE COSTEIRA DE BRAGANÇA,  
AMAZÔNIA ORIENTAL - BRASIL**

**Dissertação apresentada por:**

**ARTUR GUSTAVO OLIVEIRA DE MIRANDA**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir M. Souza Filho (UFPA)**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)**

---

**BELÉM  
2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

M672h Miranda, Artur Gustavo Oliveira de

Hidrodinâmica e transporte de sedimentos em uma área de manguezal na Planície Costeira de Bragança, Amazônia Oriental-Brasil / Artur Gustavo Oliveira de Miranda; Orientador: Pedro Walfir Martins Souza Filho ; Coorientador: Marcelo Rollnic – 2012  
xi, 50 f.: il.

Dissertação (mestrado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

1. Sedimentação e depósitos – Amazônia Oriental. 2. Hidrodinâmica. 3. Manguezal de Bragança. I. Souza Filho, Pedro Walfir Martins, *orient.* II. Rollnic, Marcelo, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22° ed.:551.30309811

---



**Universidade Federal Do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
Programa de Pós-Graduação Em Geologia e Geoquímica

**HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM UMA  
AREA DE MANGUEZAL NA PLANÍCIE COSTEIRA DE BRAGANÇA,  
AMAZÔNIA ORIENTAL - BRASIL**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**ARTUR GUSTAVO OLIVEIRA DE MIRANDA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLGIA**

**Data de aprovação: 04 / 09 / 2012**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Pedro Walfir Martins e Souza Filho**  
(Orientador – UFPA)

**Prof.<sup>a</sup> Carmem Medeiros Limongi**  
(Membro – UFPE)

**Prof. Nils Edvin Asp Neto**  
(Membro – UFPA)



## AGRADECIMENTOS

Muito obrigado meu Deus por mais esta etapa.

Obrigado meu Deus pela recém chegada do meu filho. Te amo Artur.

A minha família, por toda confiança e apoio, em especial a minha avó Reni (in memória).

Aos professores Pedro Walfir e Marcelo Rollnic pela orientação, apoio e aprendizado.

A professora Odete Silveira por toda incentivo e a meus amigos lioguinos.

A CAPES, pelo financiamento do projeto Estudos oceanográfico dos manguezais brasileiros e a formação de recursos humanos qualificados, Edital CIÊNCIAS DO MAR nº 09/2009. Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado (Proc.: 131722/2010-7) e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.

Meu muito obrigado para Afonso Quaresma (nosso coroa), Oc. Fábio Watanabe, MSc. Wilson Rocha, MSc. Diogo Santos, MSc. Paulo Freitas, Oc. Ernan Raiol, Oc. Simão de Faria e Oc. Marcos Vinícius por toda colaboração nas cansativas etapas de campo.

Aos professores Carmem Medeiros e Nils Asp pelas relevantes contribuições a este trabalho.

Ao pesquisador José Francisco Berrêdo do Museu Paraense Emílio Goeldi, pela orientação na filtragem das amostras de água.

Por todo suporte e disponibilidade pré-campo junto ao laboratório (LAGECO / IECOS) UFPA – Campos de Bragança. Aos Laboratórios de Oceanografia e Geofísica marinha (LIOG) pelo processamento das amostras de sedimentos e ao Laboratório de Absorção Atômico vinculado ao Grupo de Mineralogia e Geoquímica aplicada (UFPA) pela utilização do granulômetro a laser. Ao Laboratório de Oceanografia Física (LOF), pelos processamentos dos dados hidrodinâmicos e ao Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) por ceder a imagem Ikonos da área e pelo processamento da imagem.

## RESUMO

Os processos físicos que ocorrem nas áreas de intermarés são de fundamental importância para o ecossistema manguezal, devido o processo de interação existente entre oceanos e estuários, com os manguezais. Os canais de maré apresentam uma das mais importantes e peculiares características dos ambientes costeiros, devido à hidrodinâmica que controla tanto o fluxo das marés quanto a morfologia do canal. Este trabalho tem como objetivo analisar e compreender o processo hidrodinâmico e a dinâmica sedimentar na Planície Costeira de Bragança, especificamente na região conhecida como Canal de Maré do Furo do Meio. Foram realizados levantamentos hidrodinâmicos, medições das propriedades físico-químicas das águas, coleta de sedimentos superficiais, topográficos e quantificação da taxa de sedimentação. Como demonstrou o presente estudo o canal de maré apresentou um fluxo bidirecional bem definido, entretanto na área vegetada pelo mangue apresentou fluxo sem padrão de direção definido, logo a variação dos valores de velocidade de corrente em ambas as unidades morfológicas variaram de acordo com a sazonalidade. A média da concentração de sólidos em suspensão (CSS), entre os meses de março a setembro, manteve-se em torno de 400 ppm no canal. Quanto à planície de maré dominada por floresta de mangue, obtivemos média de aproximadamente 21.000 ppm, enquanto que no mês de dezembro esses valores foram inferiores aos registrados nos meses anteriores, onde a máxima CSS no canal foi em torno de 270 ppm e no mangue foi de 1000 ppm. Não houve uma relação direta da CSS entre canal e o manguezal. A elevada CSS no manguezal está associada à remobilização do próprio sedimento na entrada da maré nesta área, não ocorrendo o significativo aporte sedimentar do manguezal para o canal. Alterações da cota topográfica corroboraram com valores adquiridos nas medições dos trapeadores e a variação das classes texturais dos sedimentos entre silte fino e areia fina estão associadas à variação sazonal da hidrodinâmica.

Palavras-Chave: Sedimentação e depósitos – Amazônia Oriental. Hidrodinâmica.

Manguezal de Bragança.

## ABSTRACT

The physical processes that occur in intertidal areas are essential for the existence of mangrove ecosystem, due process interaction between oceans and estuaries, with mangroves. The tidal channels represent the most important and peculiar features of coastal environments, due your circulatory system basics which controls both the tidal flow as the channel morphology. This paper presents a set of data to analyze and understand the hydrodynamic process and sediment dynamics in the coastal plain of Bragança, specifically the region known as Furo do Meio tidal channel. At this region were carried out topographic and hydrodynamic collection of data, physicochemical properties of water measurements, surficial sediment collection, and quantification of sedimentation rate according the seasonality pattern (March, July, September and December). As this study demonstrated, the tidal channel presented a well defined bidirectional flow, though the area vegetated by mangrove presented a turbulent flow, so the variation of current speed in both morphological units vary according to seasonality. The average concentration of suspended solids (CSS), between the months from March to September, remained at around 400 ppm in the channel. To the tidal flat dominated by mangrove forest, an average of approximately 21,000 ppm was obtained, while in the month of December, these values were lower than those recorded in previous months, where the maximum CSS in the channel was around 270 ppm and in the mangrove was 1000 ppm. There was not a direct relationship between the CSS and the mangrove channel, where high CSS in the mangrove is associated with the remobilization of the sediment itself at tide input in this area; there was not a significant sedimentary input of mangrove to the channel. Changes in topographical elevation corroborates the values obtained in measurements of trappers and the variation of sedimentary textural classes between fine silt and fine sand are associated with the seasonal hydrodynamic variation.

Keywords: Sedimentation and deposits - Amazon oriental. Hydrodynamics. Mangrove of Bragança.

“Quando o servidor está pronto, o serviço aparece.”

(Chico Xavier)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01 - Localização da área. 1- Brasil; 2- zona costeira do estado do Pará com suas reentrâncias e 3-Península de Bragança identificando algumas unidades morfológicas, em vermelho a demarcação da área de estudo no canal de maré denominado Furo do Meio. Shapefile da Península de Bragança extraído da imagem ikonos 2007, pertencente ao laboratório de análise de imagens do trópico úmido Lait/UFPa.....6
- Figura 02 - Localização do setor 2 de acordo com a compartimentação geomorfológica, onde a) mosaico de imagens landsat-7 etm+ (composição 4r5g3b) mostrando os setores geomorfológicos 1 e 2 da CMMA, ao longo da costa nordeste do estado do Pará. B) mapa das áreas de manguezal extraído do mosaico landsat-7 etm+ em um sig.....7
- Figura 03 - Precipitação bruta mensal do ano de 2011 da estação de Augusto Corrêa.....8
- Figura 04 - Modelo evolutivo da linha de costa barreira da Península de Bragança.....10
- Figura 05 - Esquema de desenvolvimento do sistema de manguezal da Península de Bragança proposto.....11
- Figura 06 - Feedbacks em ambiente de manguezal.....13
- Figura 07 - Classificação quanto à topografia dos manguezais: (a) Floresta do tipo Ribeirinha, (b) Floresta do tipo Franja e (c) Floresta do tipo Bacia.....14
- Figura 08 - Pontos de vista esquemáticos de canais (a) sem e (b) com planícies de inundação e os fluxos de maré em torno da foz dos canais .....16
- Figura 09 - Esquema da metodologia utilizada no levantamento, onde **A** são as estações fixas, **B** estruturas de medição de cota do manguezal, **C** os perfis topográficos e **D** coletas dos sedimentos superficiais.....20
- Figura 10 - Imagem ilustrando o esquema de levantamento da primeira estação fixa. **1** mostra a disposição dos equipamentos, onde **A** é o correntômetro que foi fixado na extremidade de uma prancha de madeira, distante aproximadamente 1,2 metros da estrutura metálica para não sofrer influência magnética da mesma. **B** e **C** é o OBS e CTD respectivamente, que foram fixados em uma estrutura de aço inoxidável que, por sua vez, está acoplada em um suporte para fixação na embarcação. **2** estação acoplada na lateral da embarcação, **3** estação fixada e sensores apurados na água e **4** os equipamentos submersos.....22
- Figura 11 - Imagem mostrando os sensores e a disposição dos equipamentos da segunda estação fixa localizada no manguezal vegetado. **A** está indicando o sensor do EMCM, **B** sensores do OBS e **C** sensores do CTD sobre o sedimento lamoso.....23
- Figura 12 - Levantamento topográfico na área do mangue. **A** nível topográfico e **B** mira graduada.....25
- Figura 13 - Imagem mostrando esquema de montagem e de leitura das estruturas de medição de cota do manguezal. **A** Estrutura de medição sendo fincado no substrato

lamoso, **B** aprumamento da base superior da estrutura, **C** esquema de leitura, onde a régua na vertical fazia ângulo de 90° tanto com a base da estrutura quanto com substrato e **D** zoom detalhando o esquema da leitura, onde na porção central da estrutura havia um rasgo para o encaixe da régua, a identificação da estrutura e uma marca pela qual eram aferidos os valores da leitura.....26

Figura 14 - Imagem mostrando o esquema da coleta de sedimento superficial no manguezal. **A** espátula de coletar sedimento e **B** embalagem plástica de armazenamento do sedimento.....27

Figura 15 - Intensidade (cm/s), direção das correntes e turbidez (ppm) no canal de maré do Furo do Meio.....31

Figura 16 - Comparação da concentração de sólidos em suspensão estimada com base nas medições do OBS com os dados da filtragem da água.....32

Figura 17 - Variação dos valores das propriedades físico-química da água com a sazonalidade no canal de maré.....34

Figura 18 - Intensidade (cm/s) e direção das correntes, turbidez (ppm) e nível instantâneo da maré (metros) no mangue.....36

Figura 19 - Variação da temperatura e salinidade nos meses de março, setembro e dezembro.....38

Figura 20 - Quantificação das modificações morfológicas.....39

Figura 21 - Esquema ilustrativo dos resultados dos levantamentos topográficos realizados nos meses de março, julho, setembro e dezembro de 2011.....41

Figura 22 - Esquema ilustrativo mostrando a distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais dos meses do levantamento.....43

## **LISTA DE ABREVEATURAS**

- ANA** – Agência Nacional das Águas
- CMMA** – Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia
- CSS** – Concentração de Sólidos em Suspensão
- CTD** - Conductivity, Temperature, Depth
- DHN** – Diretoria de Hidrografia e Navegação
- EMCM** - Electromagnetic Current Meter
- FDM** – Furo do Meio
- LAIT** – Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido
- OBS** - Optical Backscatter Sensor
- PPM** – Parte por milhão
- RN** – Nível de Referência
- UFPA** - Universidade Federal do Pará
- UTM** - Universal Transversa de Mercator
- ZCIT** - Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....		iv
<b>RESUMO</b> .....		v
<b>ABSTRACT</b> .....		vi
<b>EPÍGRAFE</b> .....		vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....		viii
<b>LISTA DE ABREVEATURAS</b> .....		xi
1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....		1
2 <b>OBJETIVOS</b> .....		4
3 <b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....		5
3.1    LOCALIZAÇÃO.....		5
3.2    CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA.....		8
4 <b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO ECOSSISTEMA MANGUEZAL</b>		13
5 <b>METODOLOGIA</b> .....		18
5.1    PESQUISAS BIBLIOGRÁFICAS.....		18
5.2    ESTRATÉGIAS AMOSTRAIS .....		18
5.3    LEVANTAMENTOS DOS PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS NO MANGUEZAL.....		21
5.4    LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO, QUANTIFICAÇÃO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS		24
6 <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....		29
6.1    HIDROLOGIA E HIDRODINÂMICA.....		29
6.1.1 <b>Canal de maré</b> .....		29
6.1.2 <b>Mangue</b> .....		35
6.2    ESTRUTURAS DE MEDIÇÃO DE COTA DO MANGUEZAL		39
6.3    TOPOGRAFIA.....		40
6.4    SEDIMENTOS SUPERFICIAIS .....		42
7 <b>CONCLUSÕES</b> .....		44
<b>REFERÊNCIAS</b> .....		45

## 1 INTRODUÇÃO

O ecossistema Manguezal recobre vastas áreas de linha de costas de zonas de intermarés tropicais e subtropicais, e são muito importantes devidos o seu papel na manutenção da biodiversidade, por meio da auto sustentabilidade (e.g. alimentos) e proteção costeira (Wolanski et al., 2001, 2004; Mazda et al., 2002; Wolanski, 2006a).

Segundo Silva et al., (2004), a zona costeira constitui uma zona de fronteira sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas ocorridas temporal e espacialmente, em função de uma série de processos continentais e marinhos. Desta forma, a sazonalidade das variáveis ambientais (e.g. maré e precipitação) afeta diretamente a quantidade de material transportado e ou depositado (Allen e Duffy, 1998a e 1998b; Walsh e Nittrouer, 2004).

Lugo e Snedaker (1974) e Bunt et al., (1985) demonstraram a existência da correlação, principalmente qualitativa, entre os fatores bióticos e abióticos em mangues, onde verificaram que processos físicos (e.g. regimes de marés e geomorfológicos) eram fatores importantes para estrutura do ecossistema manguezal. Posteriormente, Wolanski et al., (1992a); Furukawa et al., (1997); Mazda et al., (1999), mostraram que o entendimento quantitativo dos processos físicos que ocorrem nessas áreas de intermarés são de fundamental importância para a existência do ecossistema manguezal, pois é a partir do requerimento do uso quantitativo, baseado em processos, que haverá a compreensão dos mecanismos naturais que se formam e mantém esse ambiente.

Augustinus (1995) observou a escassez de dados quantitativos que correlacionassem as significativas reduções das velocidades das correntes nos manguezais com expressivo aumento na sedimentação.

Uma das funções importantes dos mangues para o ecossistema é de fornecer mecanismos que funcionem como armadilhas de sedimentos (e.g. complexa estrutura das raízes aéreas), assim, as florestas de mangue são consideradas um importante ambiente coletor de sedimentos em suspensão (Bird e Barson, 1977; Woodroffe, 1992; Wolanski et al., 1992; Wolanski, 1994, 1995; Furukawa et al., 1997). Woodroffe (1992) tem uma visão de que as florestas de mangues são o resultado, e não a causa de sedimentação em áreas protegidas do litoral, portanto, somente aceleram o processo de sedimentação. Desta forma, Kathiresan (2003), observou que a retenção dos sedimentos é mais acentuada em zonas onde há associação de bosques de *Avicennia-*

*Rhizophora* comparados a zonas de sedimentação quando presente apenas bosque de *Avicennia* e / ou *Rhizophora* separadamente.

Todas as interações existentes entre os oceanos e/ou estuários com os manguezais (e.g. troca de água, mecanismo de transporte de material em suspensão e consequentemente a dinâmica de nutrientes), são resultantes da hidrodinâmica atuante nas regiões costeiras em zonas de intermarés (Wolanski e Ridd, 1986; Medeiros e Kjerfve, 1993; Mazda et al., 1995; Cohen et al., 1999; Silva e Sampaio, 1998; Lara e Dittmar, 1999; Cohen et al., 2005; Akamatsu et al., 2009).

Perillo (2009), afirmou que os canais de marés apresentam as mais importantes e peculiares características dos ambientes costeiros, uma vez que as interações hidrodinâmicas que ocorrem com os manguezais são provenientes do sistema circulatório básico atuante nos canais de marés, pois na enchente, primeiramente a água se encontra canalizada até ao nível de transbordar o dique e desenvolver um fluxo laminar e na vazante ocorre o processo inverso. Na verdade, os cursos de maré são umas das primeiras unidades morfológicas que aparecem em cima da formação de uma zona úmida costeira, quer por modificações das anteriores redes fluviais ou pela ação direta das marés e águas subterrâneas.

Levando em consideração a participação do transporte do material em suspensão e sua deposição associado às cotas topográficas da morfologia do manguezal, a qual está sujeito a alterações devido o acréscimo ou redução do aporte sedimentar, é notável que estudos sobre o processo hidrodinâmico e o transporte de partículas em suspensão em áreas de manguezal foram relatados, onde a grande parte de todo levantamento já realizado, restringe-se a áreas de estudos em manguezais da Indonésia, Austrália, China e no continente africano. Portanto, neste trabalho espera-se a apresentação de um conjunto consistente de dados que tem como objetivo analisar e compreender o processo hidrodinâmico em uma área de manguezal na Planície Costeira de Bragança, zona do trópico úmido que é parte integrante do maior cinturão contínuo de manguezal de macromarés do planeta, em função do padrão da sazonalidade, correlacionando-o com a concentração de sólidos em suspensão (CSS), com a morfologia, sua sedimentação atual, temperatura e salinidade.

Para melhor compreendermos a dinâmica sazonal dos manguezais foram realizados levantamentos hidrodinâmicos, medições das propriedades físico-químicas das águas; topográficos e quantificação da taxa de sedimentação nos meses de março,

julho, setembro e dezembro, representando assim o período chuvoso, o período seco e os períodos transicionais na região.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar e compreender os processos hidrodinâmicos e a dinâmica sedimentar em uma área de manguezal na Planície Costeira de Bragança, em função da sazonalidade.

Definem-se como objetivos específicos:

- Ponderar as variações sazonais da morfologia na planície de maré;
- Averiguar a variação sazonal da hidrodinâmica no canal de maré e na planície de maré;
- Investigar a influência das marés na concentração dos sólidos em suspensão;
- Quantificar a sedimentação na planície de maré;
- Constatar possíveis mudanças texturais dos sedimentos com a sazonalidade.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

A Planície Costeira de Bragança é uma área dominada por manguezal e está localizada na região norte do Brasil, mais precisamente na região nordeste do estado do Pará, distante aproximadamente 200 km da foz do rio Amazonas. Esta península sofre influência hidrodinâmica do estuário do Taperaçu, oceano Atlântico e do estuário do Caeté. É uma área dominada por macromarés (Abreu, 2007; Brito, 2009; Monteiro, 2009; Souza Filho, 2009) que apresenta aproximadamente 30 km de comprimento e até 15 km de largura formando uma área de 116 km<sup>2</sup> de mangue (Behling et al., 2001), no entanto, (Diniz, 2011) verificou que Península de Bragança apresenta em torno de 140 km<sup>2</sup> de cobertura de manguezal formada predominantemente por árvores dos gêneros de *Rhizophora* e *Avicennia*.

A área de estudo compreende o canal de maré denominado Furo do Meio (FDM), que está situado na parte central da floresta de mangue o qual apresenta aproximadamente 4 km de comprimento e cerca de 500 metros de largura em sua desembocadura e em torno de 35 metros de largura na área do levantamento, que está inserida na zona 23 S entre as coordenadas na projeção universal transversa de mercator (UTM) 316181 E / 9903933 S e 319048,3 E / 9901877 S, (figura 01).

A área de estudo dista aproximadamente 30 km da cidade de Bragança e cerca de 6 km da praia de Ajuruteua e está situada geograficamente na porção central da Planície Costeira de Bragança, evidenciando uma área que sofre baixa influência marinha e fluvial. O FDM tem conexão e é influenciado hidrodinamicamente apenas pelo estuário do Caeté.

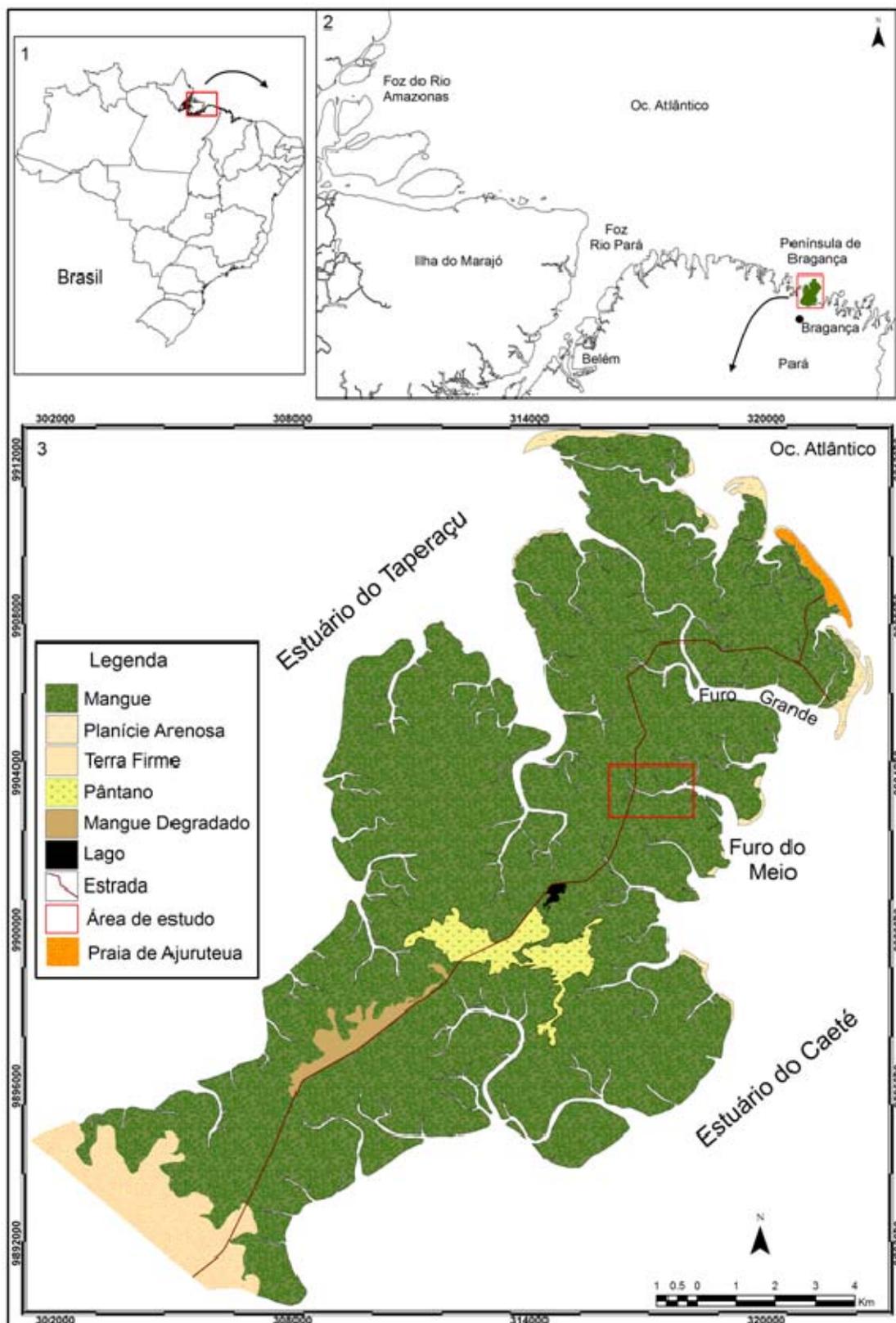


Figura 01 - Localização da área. 1- Brasil; 2- Zona costeira do Estado do Pará com suas reentrâncias e 3- Península de Bragança identificando algumas unidades morfológicas adaptada de Souza Filho (et al., 2004) e em vermelho a demarcação da área de estudo no canal de maré denominado Furo do Meio. Shapefile da Península de Bragança extraído da imagem Ikonos 2007, pertencente ao Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido Lait/UFPA.

Souza Filho (2005) compartimentou a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA) em cinco setores geomorfológicos, bem como o mapeou e quantificou as áreas de manguezais. A área de estudo deste trabalho está inserida no setor 2. Neste setor, o ecossistema de manguezal começa a se desenvolver amplamente a partir da baía de Pirabas e o planalto costeiro recua em direção a sul para constituir falésias inativas. Os manguezais desenvolvidos em direção ao mar atingem atualmente uma largura de aproximadamente 30 km e os estuários estendem-se por aproximadamente 80 km em direção ao continente. Neste setor os manguezais abrangem uma área de aproximadamente 1.334 km<sup>2</sup> (figura 02).

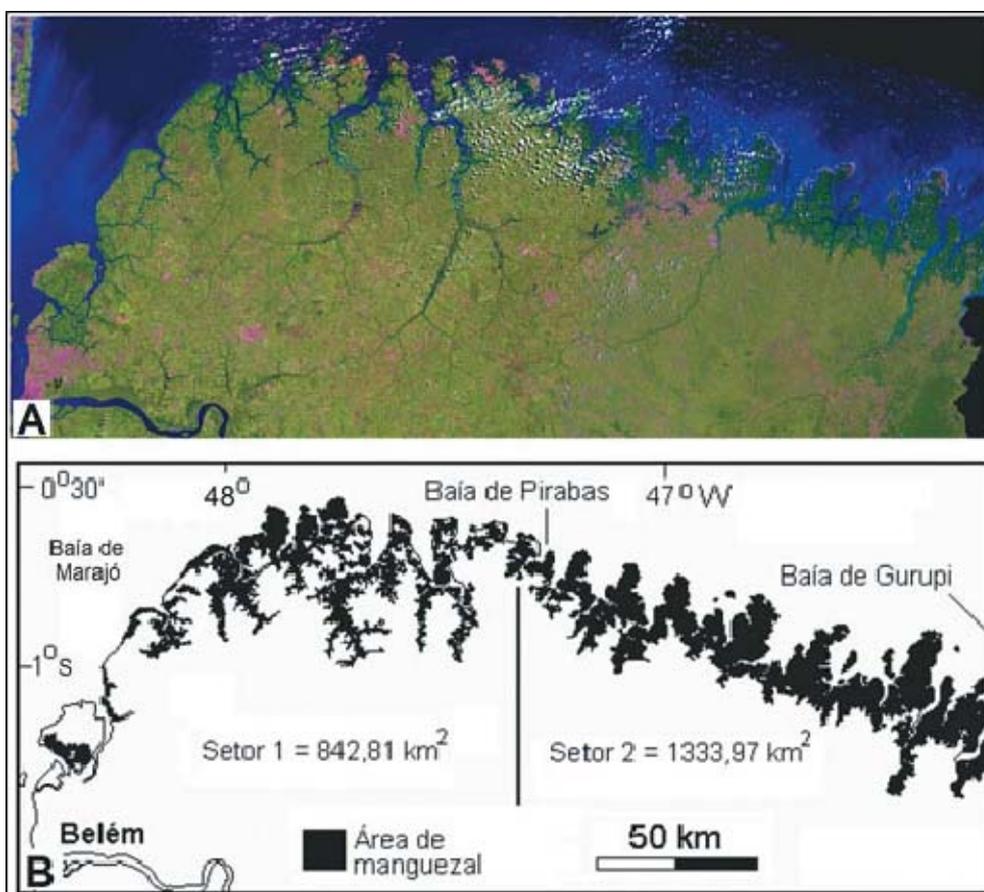


Figura 02 - Localização do setor 2 de acordo com a compartimentação geomorfológica descrita por Souza Filho (2005), onde A) Mosaico de imagens Landsat-7 ETM+ (composição 4R5G3B) mostrando os setores geomorfológicos 1 e 2 da CMMA, ao longo da costa nordeste do Estado do Pará. B) Mapa das áreas de manguezal extraído do mosaico Landsat-7 ETM+ em um SIG.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

O clima na costa amazônica é regulado por mudanças sazonais na posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A região da Planície Costeira de Bragança é caracterizada com clima equatorial quente e úmido, com a estação das chuvas bem definidas entre dezembro e maio, quando ocorrem 73% da precipitação anual. A estação seca ocorre entre junho e novembro, estabelecendo praticamente um zero de precipitação média (Martorano et al., 1993).

Nos últimos trinta anos, a precipitação média anual variou de 2.300 mm a 2.800 mm (Souza Filho et al., 2009) de acordo com dados da estação meteorológica de Traquateua, situada a 15 km a oeste de Bragança. Atualmente esta estação está desativada. Os dados de precipitação do ano de 2011 para região foram obtidos através do site da ANA (Agência Nacional de Águas), a partir da estação localizada na cidade de Augusto Corrêa distante aproximadamente 17 km da área. Os dados mensais de precipitação bruta do ano de 2011 indicaram um período chuvoso de janeiro a julho e outro período menos chuvoso de agosto a dezembro, com máxima precipitação ocorrendo no mês de março (~ 600 mm) e as mínimas nos meses de setembro e dezembro (~ 11 e 7 mm respectivamente), figura 03.

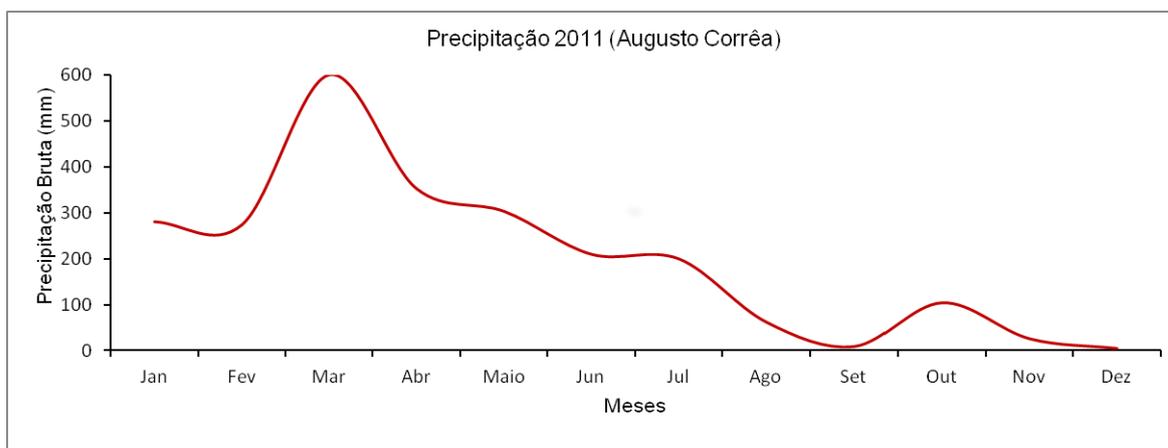


Figura 03 - Precipitação bruta mensal do ano de 2011 da estação de Augusto Corrêa (Fonte ANA).

Baseado em dados de vento (janeiro de 2003 a maio de 2005) para a estação meteorológica localizada na península de Bragança, os ventos são de leste ao longo do ano, com velocidades médias entre 2 m/s e 4 m/s. As variações sazonais, no entanto, ocorrem devido à proximidade da ICTZ entre janeiro e abril. Considerando que os

ventos de leste representam quase 70% do registro na estação seca, com velocidades médias entre 4 m/s e 6 m/s, os ventos mais fortes ocorrem em setembro, com uma velocidade máxima de cerca de 10 m/s (Souza Filho et al., 2009)

A transgressão do Holoceno inundou a antiga costa e formou uma planície de areia transgressiva. Sedimentos lamosos progradaram em direção ao mar sob esta planície de areia, como resultado do grande transporte fluvial auxiliado pela diminuição do nível do mar formando a planície atual (Souza Filho, 1995).

Conforme Souza Filho e El-Robrini (1996), a área costeira de Bragança é subdividida em três diferentes unidades geomorfológicas: Planície Aluvial, Planície Estuarina e Planície Costeira. A planície costeira é margeada ao sul pelas falésias mortas de 1 m de altura, erodidas no platô costeiro. Na parte norte, a zona costeira é dominada por processos marinhos sendo representada pela planície estuarina. Mangues, pântanos salgados, planície de maré, dunas costeiras e praias compõem esta planície.

O desenvolvimento evolutivo dos manguezais é controlado pela interação terra-mar e seu desenvolvimento é determinado pela topografia, pelos sedimentos superficiais do pré-Holoceno e condições hidrodinâmicas atuais (Woodroffe, 1982).

Souza Filho (op.cit.) estabeleceram a compreensão da evolução costeira da península de Bragança em escala de tempo geológica, a partir do estabelecimento de modelo hidrodinâmico, de fácies e estratigrafia de seqüências, onde possibilitou o entendimento de como se deu o processo de sedimentação lamosa e posteriormente o desenvolvimento dos manguezais durante o Holoceno (figura 04), contrariando à idéia que regiões de macromaré (maré > 4 m) não são propícias à formação de ilhas barreiras (Davis e Hayes, 1984).

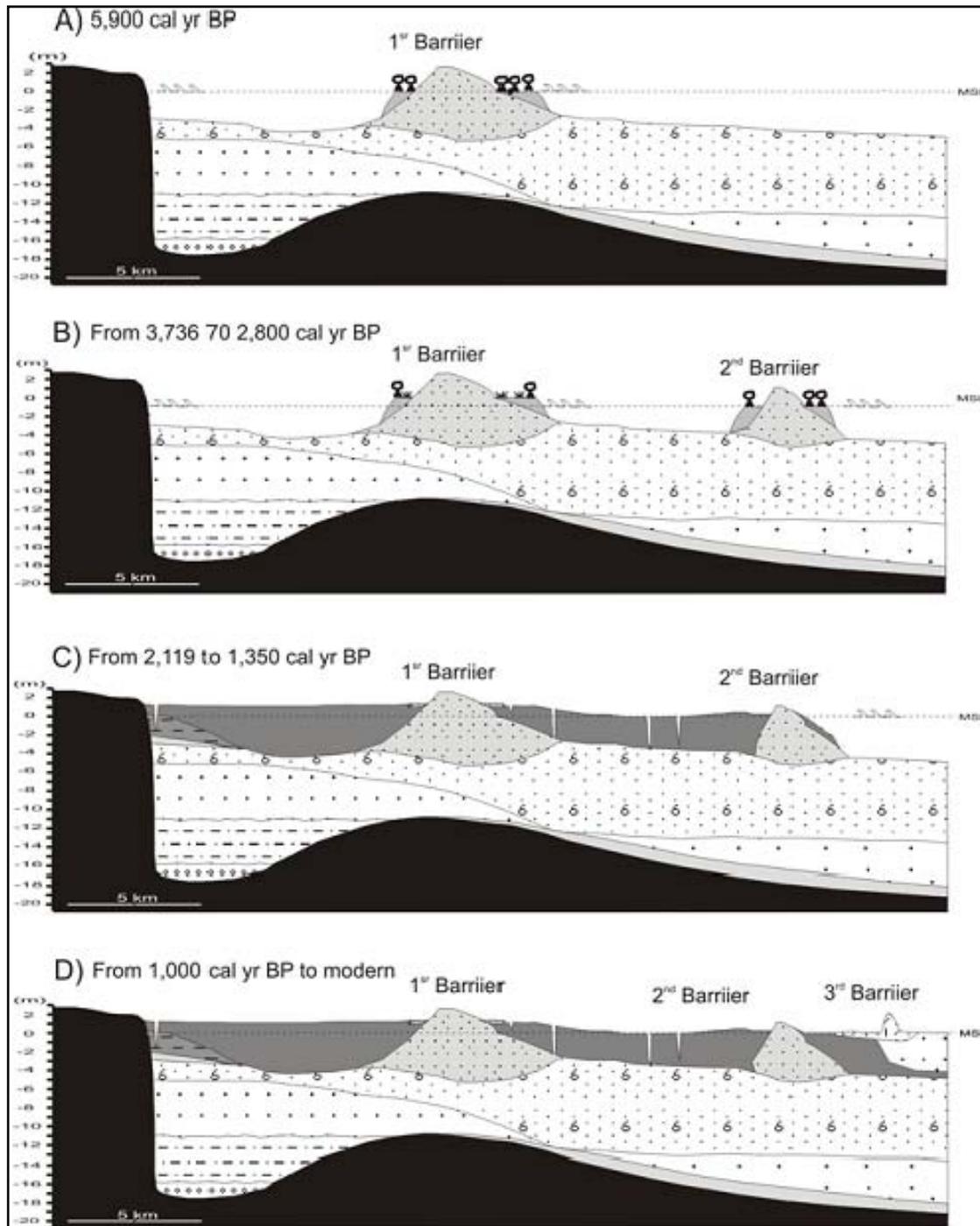


Figura 04 - Modelo evolutivo da linha de costa barreira da península de Bragança proposto por Souza Filho et al., (2009).

Com base na integração das informações geológicas a partir das formações dos depósitos sedimentares do manguezal, associado aos dados de radiocarbono e registros de pólen, Cohen et al., (2005), propôs um modelo de desenvolvimento evolutivo para os manguezais da península de Bragança impulsionado pelas mudanças em relação ao

nível do mar a partir do Holoceno tardio, depois da subida relativa do nível do mar pós-glacial (RSL) (figura 05).

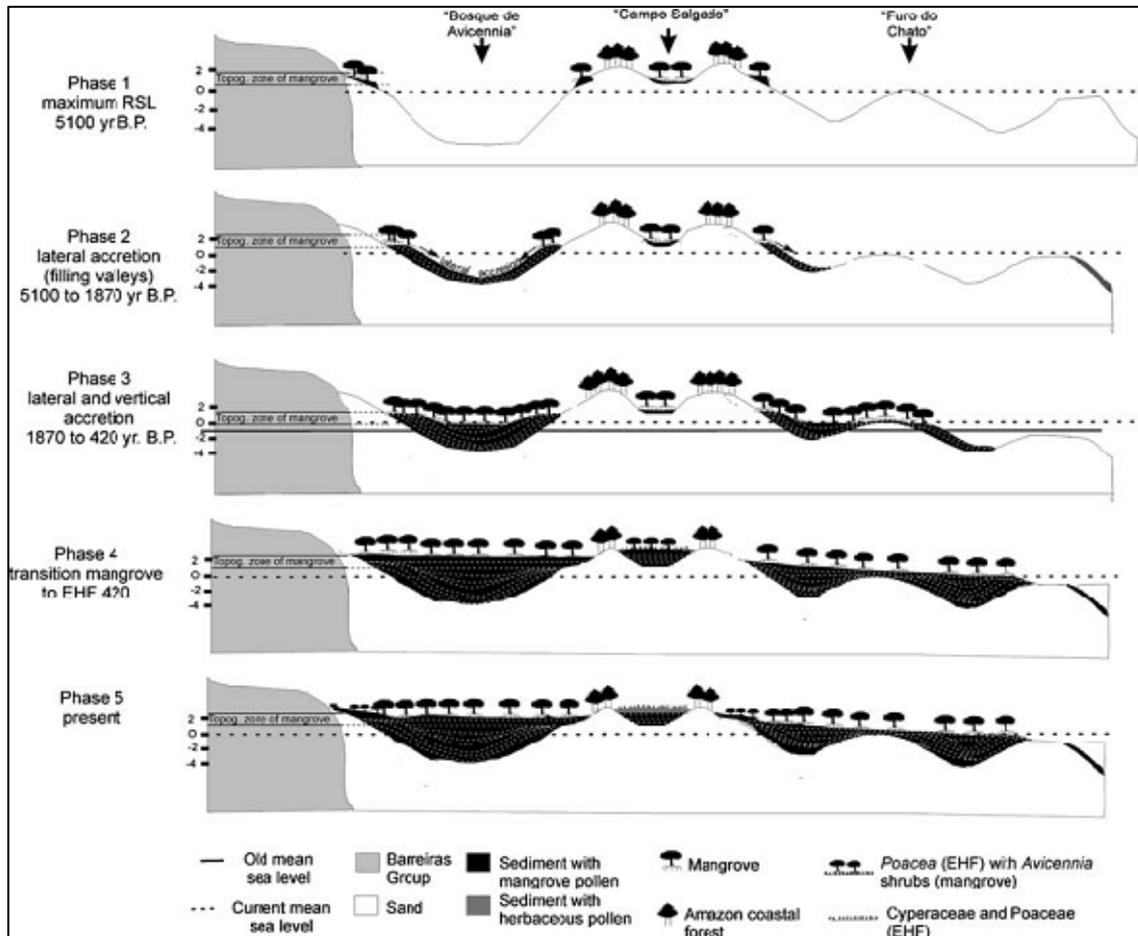


Figura 5 - Esquema de desenvolvimento do sistema de manguezal da Península de Bragança proposto por Cohen et al., (2005).

O resultado das análises granulométricas realizada por Gomes (2009), indica que os sedimentos superficiais em uma área de manguezal na planície costeira de Bragança, são compostos essencialmente por silte e o teor de matéria orgânica varia de 2 a 7,5%.

Segundo Monteiro (2009), as marés são assimétricas e o tempo e a intensidade das correntes de maré durante a enchente e vazante são diferenciados. Na estação chuvosa, as vazantes são ligeiramente mais longas e as intensidades das correntes de marés são mais intensas quando comparados com as enchentes. Durante este período do ano, a elevada vazão do Caeté, em decorrência da elevada precipitação pluviométrica, registrada principalmente nos meses de março e abril, são responsáveis por este padrão de circulação. Na estação seca, a redução da vazão do Caeté, a presença de fortes

ventos, a ação de ondas e a presença de barras e bancos de areia ao longo da desembocadura do Caeté foram responsáveis para que as enchentes fossem ligeiramente mais longas e as intensidades das correntes de marés fossem maiores quando comparados com a vazante. As presenças de manguezais e de furos também influenciaram na assimetria da maré, nesta região. A velocidade máxima das correntes de maré foi de 2 m/s, no setor marinho e a altura máxima, setor estuarino, foi de 4,9 m.

#### 4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

O manguezal é um ecossistema característico de regiões costeiras tropicais e subtropicais, está entre os ecossistemas mais ricos do mundo devido sua produtividade primária (Kathiresan e Bingham, 2001; Mazda et al., 2002; Kathiresan, 2003; FAO, 2011).

De acordo com o Atlas de Manguezais (Spalding et al., 1997), este ecossistema ocupa 8% de toda a linha de costa do planeta e 25% da linha de costa da zona tropical, perfazendo um total de aproximadamente 181.000 km<sup>2</sup>. Vale ressaltar que o Brasil é o segundo país em extensão de áreas de manguezal (13.400 km<sup>2</sup>), sendo a zona costeira da região norte (Maranhão e Pará) denominada por Souza Filho (2005), como Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA), esta região foi definida como o maior cinturão contínuo de manguezais do planeta, totalizando uma área de manguezal de 7.591,09 km<sup>2</sup>.

Mazda et al., (2007a), desenvolveram um modelo holístico do ecossistema de manguezal (figura 06), com base na seguinte consideração: Para o entendimento do ecossistema manguezal é necessário a compreensão dos mecanismos naturais que se formam e mantêm esse ambiente. Isso segundo Wolanski et al. (2004), requer o uso quantitativo dos processos atuantes no mesmo, ligando as estreitas conexões dos modelos dos processos abióticos com os físicos (e.g. fluxo da água, geomorfologia e atmosfera).

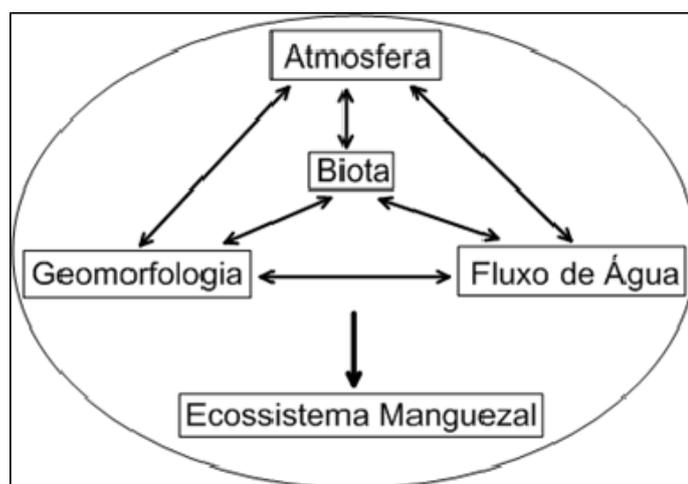


Figura 06 - Feedbacks em ambiente de manguezal (Adaptado de Mazda et al., 2007a).

Os manguezais podem ser classificados quanto a sua morfologia. Varias classificações tem sido propostas por diferentes autores, tendo sido adotado pelo presente trabalho aquela proposta por Cintron e Novelli (1984). Esta classificação foi modificada a partir da classificação da morfologia de mangue proposto por Lugo e Snedaker (1974), e distingui três tipos topográficos: floresta de franja, floresta de riacho ou ribeirinha, e floresta de bacia, conforme mostrado esquematicamente na figura 07.

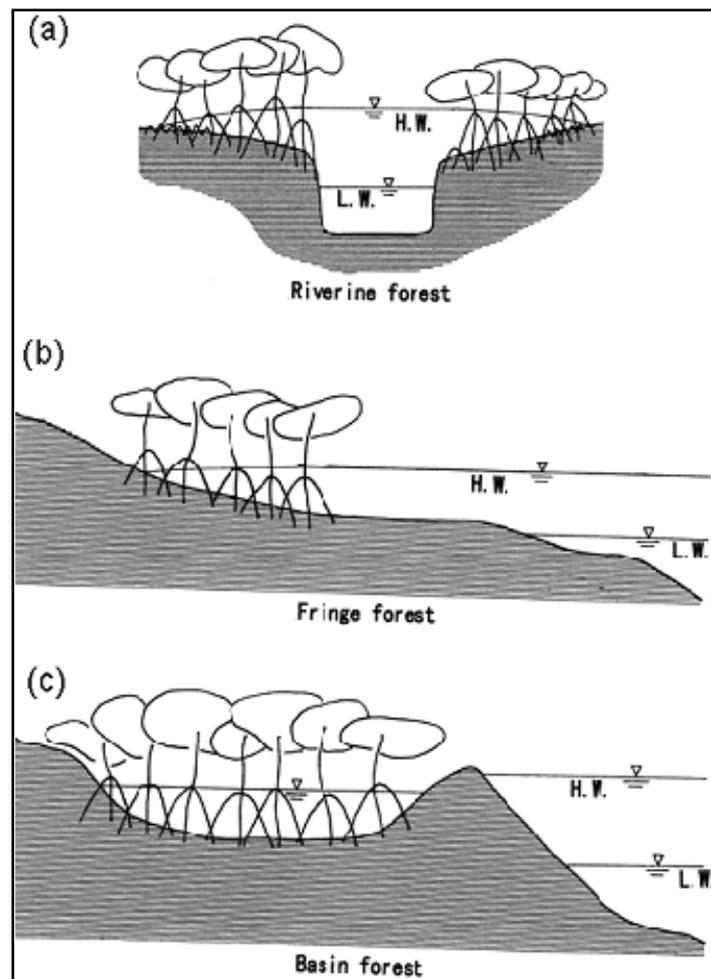


Figura 07 - Classificação quanto à topografia dos manguezais (Cintron e Novelli, 1984): (a) floresta tipo ribeirinha, (b) floresta tipo franja, e (c) floresta do tipo bacia.

- A) Floresta Ribeirinha (tipo R): Este tipo de relevo é definido como planície de inundação ao lado de drenagem de canais ou riachos de maré, que são inundadas pelas marés altas de sizígia e permanecem expostas durante as marés baixas. Kobashi e Mazda, (2005); Mazda et al., (2005), evidenciaram que a maioria das marés em canais

de maré são perpendiculares à costa, e se entrelaçam com outros riachos e na foz do canal as correntes são altamente sinuosas. Ondas do mar raramente se propagam para planície por causa da dissipação da energia ao longo dos canais de maré. Planícies próximas ao córrego são mais propícias a erosão devido os fluxos das marés ser longitudinal, enquanto o fluxo na planície ser predominantemente perpendicular ao canal devido ao gradiente na superfície da água entre a planície e o canal de maré.

- B) Floresta de Franja (tipo F): Esta morfologia compreende as planícies ao longo das linhas de costas que enfrentam o mar aberto e estão diretamente expostos à ação de ambas água das marés e das ondas do mar. Ondas do mar são atenuadas nas planícies devido à resistência de árvores de mangue e suas raízes que emergem (Mazda et al., 1997; Mazda et al., 2006).
- C) Florestas de Bacia (tipo B): Esta morfologia da planície corresponde a depressões parcialmente apreendidas que raramente são inundadas pelas marés altas durante a estação seca, mas são inundadas pelas altas marés de primavera durante a estação chuvosa. Durante a estação seca, o nível de água nas depressões continua a cair lentamente por causa do fluxo de água subterrânea para o mar aberto impulsionado pela diferença no nível de água entre a depressão e o mar aberto.

O fluxo de água em canal de maré cercado por manguezais, ou seja, do tipo R é muito diferente do que, em canais sem manguezais. Note-se que não só a água do canal inunda a planície com períodos de marés, mas também é fortemente influenciada pela água que retorna da planície após a inundação da maré. O volume inundado de uma planície resulta em um grande aumento no fluxo de água dentro do canal, particularmente na desembocadura do riacho, em comparação com canal semelhante sem planícies de inundação vegetada por floresta de mangue (Figura 08). Em alguns locais, a água doce é empurrada para trás lateralmente à planície durante as marés cheias e preso até a vazante (Mazda et al., 2002).

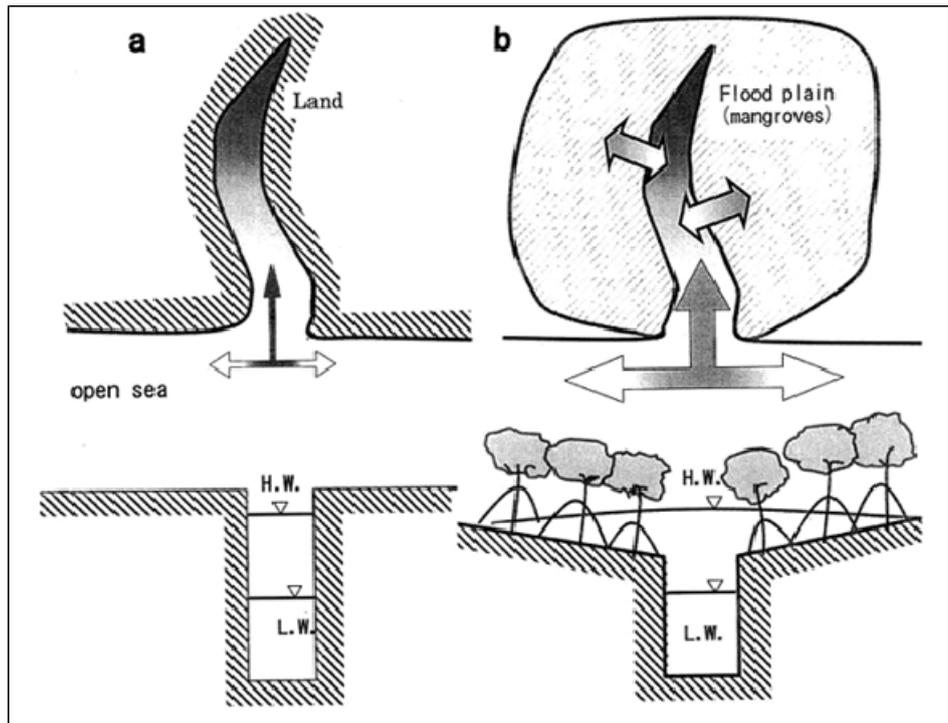


Figura 08 - Pontos de vista esquemáticos de canais (a) sem e (b) com planícies de inundação e os fluxos de maré em torno da foz dos canais (Mazda et al., 2002).

Isto ocasiona, ao longo do córrego, o acumulo de detritos flutuantes como o pólen de mangue, folhas e sementes (Wolanski, 1992). As concentrações de sedimentos em suspensão dependem do estágio de maré e da força da corrente de maré (Wolanski et al., 1992b), (Mazda et al., 2002).

Estes ambientes podem sofrer erosão causada diretamente ou indiretamente pelo forte fluxo, porém, em muitos canais com registro de mangue a assimetria da maré ajuda a transportar o sedimento mais grosseiro do canal, garantindo a manutenção da profundidade do canal e o intercâmbio de material entre a área de manguezal e o mar. Durante condições de baixa e alta evaporação na estação seca, uma máxima de salinidade pode desenvolver-se no canal. Isso isola o curso superior do canal das águas costeiras ou induz uma circulação inversa no estuário (Ridd e Stieglitz, 2002). O estuário inverso, ou o estuário negativo induz a uma circulação gravitacional incomum com fluxo na camada superior do córrego e do fluxo a jusante na parte inferior camada. Consequentemente, o material flutuante que se originou no manguezal (e.g. sementes mangues) é impedido de chegar ao mar aberto.

As marés induzem alterações nas profundidades da coluna d'água e nas correntes horizontais. Em áreas de manguezais, a maré comumente se comporta como uma onda solitária, onde em baixamar o substrato de fundo permanece exposto. A água começa a inundar o mangue em torno de meio período de enchente e o fluxo da água através da vegetação reduz próximo da preamar e inverte a direção com o refluxo da maré. Mesmo que as oscilações das marés sejam simétricas, a maré torna-se altamente assimétrica em manguezais, devido ao efeito da vegetação do mangue e a topografia (Mazda et al., 1995; Aucan e Ridd, 2000). A modificação do sinal de maré é aparente no momento em que a água começa a inundar o pântano e é especialmente pronunciado no momento em que o fundo do substrato seca na maré vazante (Mazda e Kamiyama, 2007).

As raízes de mangue são densamente entrelaçadas acima da parte inferior do substrato, que favorece a interação entre as raízes de mangues e corrente de maré. Essas interações turbulentas geram mistura e difusão de água e materiais e contribuem para formar e manter a distribuição de material dentro do mangue (Wolanski et al., 1992b, 1996; Wolanski 1995; Furukawa e Wolanski, 1996; Furukawa et al., 1997). Em particular, Wolanski (et al., 1998) propôs que a sedimentação é reforçada pela turbulência em torno da vegetação e resulta na formação das áreas de sedimentação.

Após uma revisão da literatura sobre a morfologia de zonas úmidas, Perillo (2009) constatou uma notável confusão sobre a variedade de nomes dados aos “vales” (cursos d'águas) destas zonas. Nomes como os canais e riachos de maré são muito comuns e usados alternadamente até na mesma publicação. Com isso foi definido um curso das marés como qualquer reentrância ou vale em uma zona úmida, originados por processos de maré no qual a água flui impulsionada principalmente pela influência das marés com pelo menos dois níveis de inundação. A principal diferença dos cursos é a permanência de inundação por água conduzida gravitacionalmente em pelo menos parte do curso. As profundidades dos riachos de maré variam de algumas dezenas de centímetros podendo atingir até 2 m de profundidade, enquanto que a largura tem valores semelhantes e são os afluentes dos canais de maré dentro da planície de maré. O Canal de marés sempre tem água ao longo de seu curso inteiro, mesmo durante a baixamar da mínima de sizígia. Sua profundidade é superior a 2 m e valores máximos são altamente dependentes das características de amplitude de maré da zona úmida e apresentam largura que começam em cerca de 2 m e pode chegar a quilômetros.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 PESQUISAS BIBLIOGRÁFICAS

Com o intuito de estabelecer a fundamentação teórica para o desenvolvimento desta dissertação, foi realizado levantamento de acervo do material bibliográfico disponível para a área em questão e áreas relacionadas de outras regiões, incluindo pesquisa na Internet, principalmente no site [www.scopus.com/search/form.url](http://www.scopus.com/search/form.url), que consiste no maior banco de dados e citações de literatura científica e de fontes de qualidade da web, abrangendo cerca de 18.000 títulos de mais de 5.000 editores.

### 5.2 ESTRATÉGIAS AMOSTRAIS

Para melhor compreendermos a dinâmica sazonal dos manguezais, foi obtido um conjunto de dados a partir dos levantamentos realizados em quatro campanhas trimestrais entre os meses de março a dezembro de 2011.

Dados dos processos oceanográficos, assim como dados da taxa de sedimentação foram obtidos a partir de experimentos realizados por meio de estações fixas e estruturas de medições de cotas de sedimentação no ecossistema manguezal, onde foram levantados dados hidrodinâmicos e propriedades físico-químicas da água. Além disso, foram realizados levantamentos de perfis topográficos e sedimentológicos. Todos os levantamentos foram realizados seguindo um transecto normal ao eixo principal do canal, adentrando a planície de maré vegetada por mangue, uma vez que o intuito do experimento era de identificar e compreender os agentes dos processos dinâmicos no canal de maré e na floresta de manguezal, assim como analisá-las de forma comparativa para as duas unidades morfológicas (figura 09).

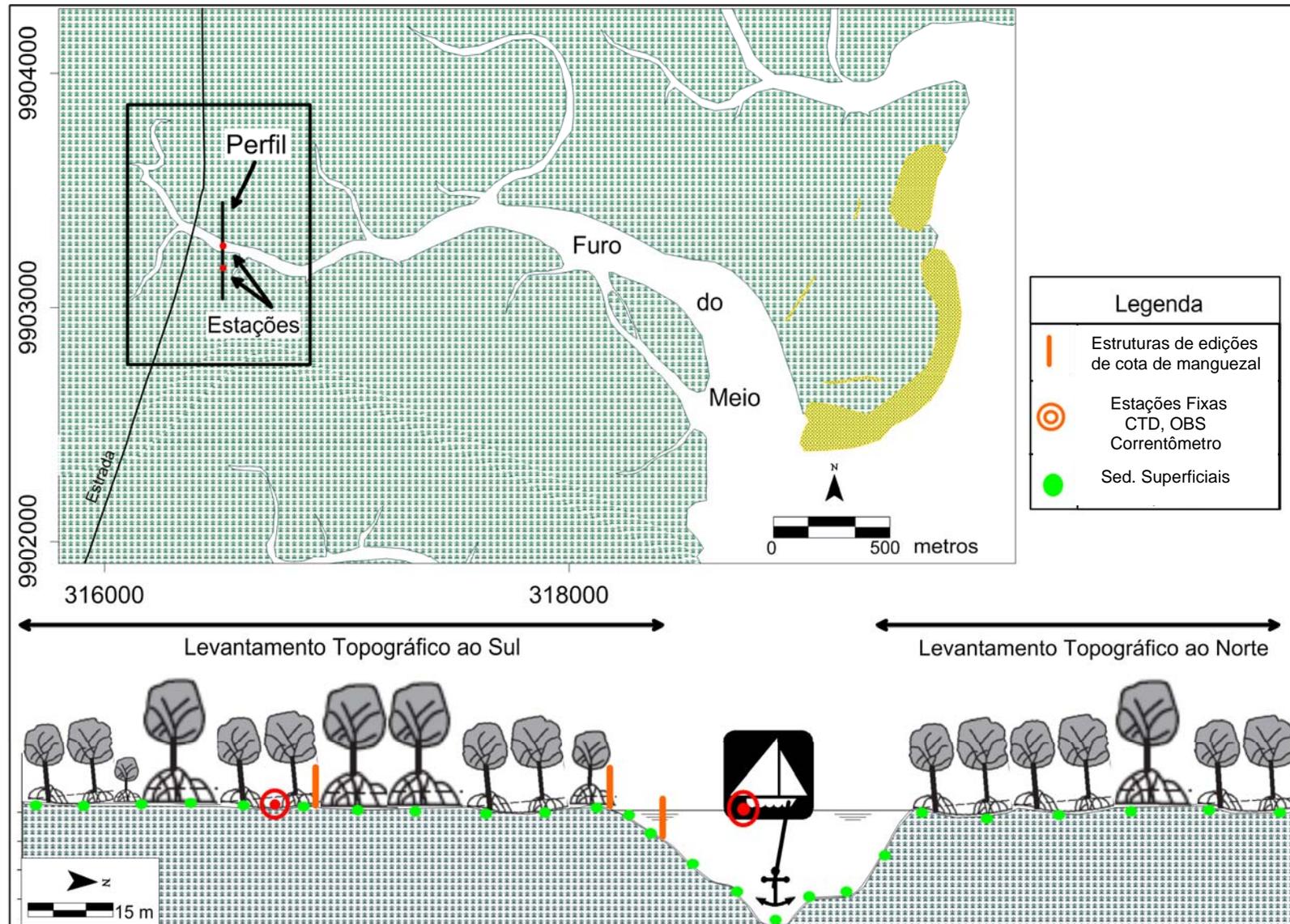


Figura 09 - Esquema da metodologia utilizada no levantamento, a qual evidencia no Furo do Meio, as localizações das estações fixas, as estruturas de medição de cota do manguezal, os perfis topográficos e os pontos de coletas dos sedimentos superficiais.

Os planejamentos pré-campo foram realizados a partir das informações das previsões de maré disponibilizadas pelo site da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN, 2011). A referência de dados de maré mais próxima da área de estudo é para o fundeadouro de Salinópolis. A defasagem da maré foi avançado em torno de uma hora do Furo do Meio para o fundeadouro de Salinas.

### 5.3 LEVANTAMENTOS DOS PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS NO MANGUEZAL

Foram utilizados para os levantamentos hidrodinâmicos e hidrológicos duas estações fixas compostas cada uma por um correntômetro eletromagnético bi-direcional (EMCM) da marca JFE ALEC CO., modelo AEM-USB, uma sonda óptica de retroespalhamento (OBS) com sensor de pressão e duplo sensores de densidades auto limpantes da marca JFE ALEC CO., modelo ATU75W-USB que já são calibrados de fábrica com acurácia de até 10%, que equivale a aproximadamente 10 mg/L para mais ou para menos; e um CTD da marca Sea-Bird Electronics, Inc., modelo SBE 37 MicroCAT. EMCM, OBS e CTD são respectivamente acrônimos do inglês *electromagnetic current meter*, *Optical backscatter Sensor* e *Conductivity, Temperature, Depth*. Os dados foram levantados durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 horas) e adquiridos simultaneamente a cada 60 segundos em condições de marés de sizígia, pois somente essas marés têm competência para inundar a área do manguezal vegetada.

As estações fixas foram instaladas alinhadas em duas áreas distintas do manguezal de Bragança. A primeira estação estava acoplada na lateral de uma embarcação de alumínio ancorada no leito menor do canal de maré do Furo do Meio, onde os sensores dos equipamentos desta estação estavam aprumados e fixados aproximadamente 50 cm abaixo da superfície da lâmina d'água. No canal de maré foram levantados dados de velocidade e direção da corrente, temperatura, salinidade e concentração de sólidos em suspensão (CSS).

Os dados e registros foram obtidos para capa superficial dos primeiros 50 cm, uma vez que esta camada é a de maior influencia para a área vegetada pelo mangue. já que sedimentos coesivos não são transportados como carga de leito, exceto na forma de lama fluida. Eles quase sempre são transportados em forma de suspensão (figura 10).

Para permitir correlacionar os valores do OBS com os de CSS de setembro, foram coletados cinco amostras (um litro) de água superficial do canal de maré. A quantificação da CSS foi obtida a partir do método da filtração descrito por Paranhos (1996).



Figura 10 - Imagem ilustrando o esquema de levantamento da primeira estação fixa. **1** mostra a disposição dos equipamentos, onde **A** é o correntômetro que foi fixado na extremidade de uma prancha de madeira, distante aproximadamente 1,2 metros da estrutura metálica para não sofrer influência magnética da mesma. **B** e **C** é o OBS e CTD respectivamente, que foram fixados em uma estrutura de aço inoxidável que, por sua vez, está acoplada em um suporte para fixação na embarcação. **2** estação acoplada na lateral da embarcação, **3** estação fixada e sensores apurados na água e **4** os equipamentos submersos.

Localizada na área vegetada do manguezal, paralelo a margem direita do canal de maré (porção ao sul) o conjunto de equipamentos da segunda estação fixa estava sobreposto ao substrato lamoso e margeado por raízes subaéreas das árvores do mangue. Os sensores dos equipamentos estavam alinhados aproximadamente 10 centímetros acima do substrato e foram levantados dados de velocidade e direção das correntes,

temperatura, salinidade, concentração dos sólidos em suspensão e do nível d'água (figura 11).



Figura 11 - Imagem mostrando os sensores e a disposição dos equipamentos da segunda estação fixa localizada no manguezal vegetado. **A** está indicando o sensor do EMCM, **B** sensores do OBS e **C** sensores do CTD sobre o sedimento lamoso.

Os dados adquiridos pelos equipamentos das estações foram extraídos através dos seus respectivos softwares e exportados no formato de planilha para o Software *Surfer* 10. No *Surfer*, foram gerados gráficos preliminares para que fossem identificados possíveis erros de picos dos valores. Assim identificados, os dados foram filtrados, processados e gerados em forma de gráficos. Para melhor visualização e compreensão dos dados, foram gerados dois gráficos de cada uma das estações fixas para cada mês do levantamento, onde os dados do OBS e EMCM foram gerados juntos em um único gráfico e em outro gráfico gerado os dados somente do CTD, com exceção do mês de julho que por problemas técnicos os dados do CTD não foram coletados tanto no canal quanto no mangue.

#### 5.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO, QUANTIFICAÇÃO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS

Por questão de logística, devido às peculiaridades naturais do ambiente de manguezal, não foi possível realizar o nivelamento geométrico verdadeiro, ou seja, as distâncias verticais não foram referidas a uma superfície média do mar ou a uma referência de nível (RN). O levantamento topográfico foi realizado a partir de um nivelamento aparente, no qual as distâncias verticais foram referidas a uma superfície de nível arbitrária, para apenas caracterizar a evolução morfológica a partir das cotas topográficas.

Os levantamentos topográficos foram dispostos transversalmente às margens da planície, alinhada às estações fixas. Foi utilizado um nível topográfico da marca *Nikon* modelo 12n para determinação das superfícies horizontais e uma mira graduada que foi colocada nos pontos de nivelamento onde foi verificada a intersecção do plano horizontal traçado pelo nível, onde cada valor de cota de ponto de nivelamento foi associado a uma coordenada no GPS (figura 12).

Foram traçados dois perfis, sendo que o primeiro estava disposto na planície de intermaré do canal de maré do Furo do Meio para a área vegetada da margem direita do canal (porção ao sul). O segundo perfil estava disposto a partir da base do talvegue para a porção vegetada da margem esquerda (porção ao norte). Não foi realizado levantamento no restante do leito do canal por ser praticamente impossível o manuseio do equipamento nesta área. Em ambos perfis o nivelamento seguiu o mesmo procedimento, onde o nível permaneceu fixo próximo aos diques e somente a mira era movimentada.

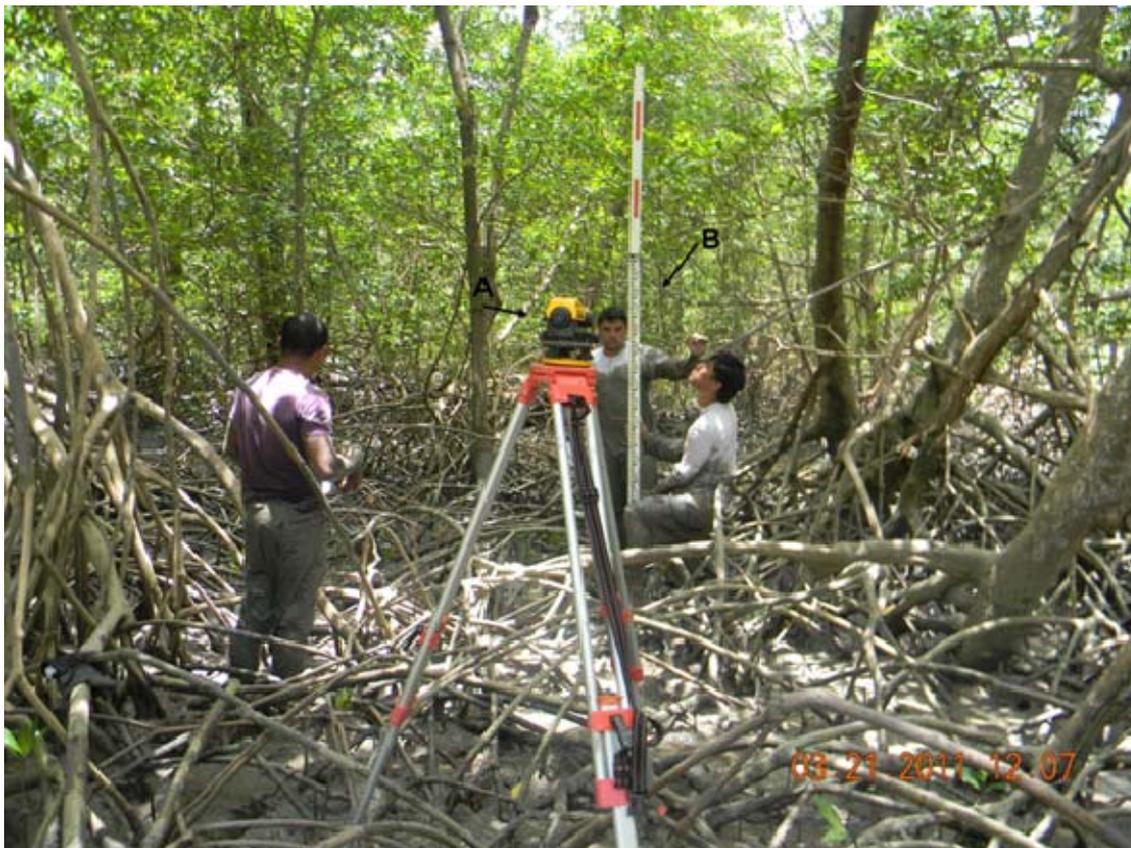


Figura 12 - Levantamento topográfico na área do mangue. **A** nível topográfico e **B** mira graduada.

Três estruturas de medição de cota do manguezal foram utilizadas para quantificação da taxa de sedimentação *in situ*. As estruturas estavam distribuídas ao longo do perfil topográfico da margem direita e estavam alinhados às estações fixas. A primeira estrutura estava localizada próximo ao início do perfil na área mediana da planície de intermaré, o segundo estava na porção próxima ao dique marginal e o terceiro próximo à segunda estação fixa na área de mangue.

As estruturas de medição consistem em armações de madeira de 1,2 metros de altura por 1,5 metros de comprimento. As mesmas foram fincadas 80 centímetros no substrato e aprumadas para que ficassem imóveis durante todo o levantamento (figura 13). A quantificação se dava a partir que se aferia, com uma régua milimetrada, o valor da distância entre o substrato e a base superior da estrutura. As distâncias foram verificadas ao longo de todo levantamento e a diferença entre os valores quantificaram a sedimentação e ou erosão para essas áreas do manguezal.



Figura 13 - imagem mostrando esquema de montagem e de leitura das estruturas de medição de cota do manguezal. **A** estrutura de medição sendo fincada no substrato lamoso, **B** aprumamento da base superior da estrutura, **C** esquema de leitura, onde a régua na vertical fazia ângulo de 90° tanto com a base da estrutura quanto com substrato e **D** zoom detalhando o esquema da leitura, onde na porção central da estrutura havia um rasgo para o encaixe da régua, a identificação da estrutura e uma marca pela qual eram aferidos os valores da leitura.

As coletas dos sedimentos superficiais foram dispostas ao longo da mesma seção onde se realizou os levantamentos anteriores, porém, também foram realizadas coletas ao longo do leito do canal.

Com auxílio de uma espátula, foram coletadas apenas as porções mais superficiais do substrato, pois o intuito era verificar a textura da sedimentação mais recente, em seguida eram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e posicionados no GPS (figura 14). Foram coletadas um total de 24 amostras por levantamento.



Figura 14 - Imagem mostrando o esquema da coleta de sedimento superficial no manguezal. **A** espátula de coletar sedimento e **B** embalagem plástica de armazenamento do sedimento.

O pré-processamento e análise das amostras de sedimentos de manguezal seguiram o seguinte roteiro: cada sub-amostra de sedimento foi despejada em um *becker* identificado e lavada sucessivas vezes com água destilada para retirada de sais dissolvidos, onde a troca de água era realizada, após decantação do sedimento, com auxílio de uma “mangueirinha” para que não houvesse agitação e possíveis perdas, posteriormente seca em estufa a 50°C.

Com intuito de somente remover a matéria orgânica do sedimento, foi adaptado o método utilizado nos estudos de Jorge (1980) que consistiu 3 gramas de sedimento umedecida em 32 mL de água destilada atacada com 8 mL de Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ) a 30% (100 volumes). Sucessivas aplicações foram realizadas não havendo um padrão do número de ataques nas amostras, pois enquanto observava-se efervescência reaplicava o uso do peróxido.

Para acelerar o processo de lavagem para retirada do peróxido as amostras foram centrifugadas duas vezes a velocidade de 2000 rpm durante 10 minutos com água destilada. As etapas posteriores de secagem e pesagem não foram realizadas, pois, como foi dito anteriormente as amostras foram processadas apenas para eliminar e não quantificar a matéria orgânica.

Foram adicionados 20 mL de solução de pirofosfato de sódio (concentração 0,9 g/Litro) nas amostras que foram analisadas no granulômetro a Laser (marca *FRITSCH*, modelo AnalyseTT 22 MicroTec Plus) com faixa de varredura de 0,12 mm a 2 mm (colóide a areia muito grossa), que utiliza o método de dispersão via úmida.

Os dados da topografia e da sedimentologia foram processados da mesma forma no Software *Surfer* 10. Os valores das cotas topográficas foram interpolados e gerados

curvas (perfis) para cada levantamento e posteriormente foram agrupados. Já as curvas da sedimentologia foram geradas a partir dos valores da textura predominante de cada sub-amostra, que foram limitadas dimensionalmente e designadas de acordo com a classificação de Wentworth, (1922) *apud* Suguio (1973). Os dados das estruturas foram apenas calculados e quantificados, ou seja, foram calculadas as diferenças dos valores verificados em cada mês de medição.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 HIDROLOGIA E HIDRODINÂMICA

#### 6.1.1 Canal de maré

Por se tratar de uma floresta de mangue do tipo R, o comportamento direcional das correntes de maré no manguezal do FDM, assemelha-se aos descritos por Mazda (2003) e Perillo (2009), iniciando-se e mantendo-se canalizada até o limite do dique. Somente após o mesmo ser ultrapassado, inicia-se o fluxo de água para a planície de inundação vegetada por mangues. Na vazante o processo se inverte.

Porém, é importante salientar que antes da maré atingir o limite do dique, primeiramente a maré alcança o limite do riacho de maré. Neste trabalho foi observado que a entrada da maré no riacho está associada ao pico mínimo da velocidade na enchente, sendo que nos meses equinociais a maré levou em torno de uma hora para atingir este pico mínimo e em julho e dezembro este tempo foi de aproximadamente de uma hora e meia.

Graficamente os dados são apresentados para o período de enchente e três horas posteriores à preamar, uma vez que após este período não há mais influência para o canal de maré do mangue vegetado nem do riacho de maré, já que o foco do trabalho é relacionar o canal com a área de mangue. No entanto, na figura 15 B está demonstrando no primeiro momento o ciclo completo de maré, onde a direção predominante das correntes foi de SE-NW na enchente e na vazante NW-SE, com o período de enchente em torno de 4 horas e o de vazante de 8 horas, padrão semelhante foram verificados por Brito (2009) no estuário do Taperaçu.

Furukawa et al. (1997) e Wolanski et al. (1980) afirmam que a assimetria das marés verificada em canais de maré de manguezais é responsável pelo estabelecimento e manutenção da profundidade dos mesmo.

A maré levou em torno de meia hora, após entrar no riacho de maré, para alcançar o limite do dique nos quatro meses do levantamento, ou seja, nos meses equinociais a maré demorou aproximadamente uma hora e meia para transbordar o dique e em julho e dezembro em torno de duas horas ou meio período de enchente corroborando o definido por (Mazda & Wolanski, 2009).

Na estação chuvosa as maiores intensidades de correntes foram registradas no período da vazante atingindo 180 cm/s em março e 120 cm/s em julho (figura 15 A e B), e na estação menos chuvosa ocorreu o processo inverso, onde as maiores intensidades foram verificadas na enchente, com ápice das correntes de 140 cm/s em setembro e 50 cm/s em dezembro (figura 15 C e D). Furukawa et al., (1997); Kitheka (1996a e 1998) e Kitheka (et al., 2002), também verificaram que a maioria dos canais de marés de manguezal são caracterizados por apresentarem velocidade do fluxo de vazante mais forte que o fluxo de enchente e Monteiro (2009) verificou o mesmo padrão sazonal no estuário do Caeté.

Os valores de turbidez tendem a diminuir da estação chuvosa para a menos chuvosa, onde os valores médios em março ficaram em torno de 600 ppm, em julho 400 ppm, setembro cerca de 200 ppm e em dezembro 120 ppm. Não houve uma relação direta entre os valores de turbidez e a intensidade da corrente, porém, houve um pico nos estofos de marés de julho e setembro.

A elevada concentração verificada em setembro, aproximadamente 20.000 ppm é resultante do transporte dos sedimentos retrabalhados do leito do canal (o fluxo já está apenas canalizado) que são carregados em forma de lama fluida (Capo et al., 2006).

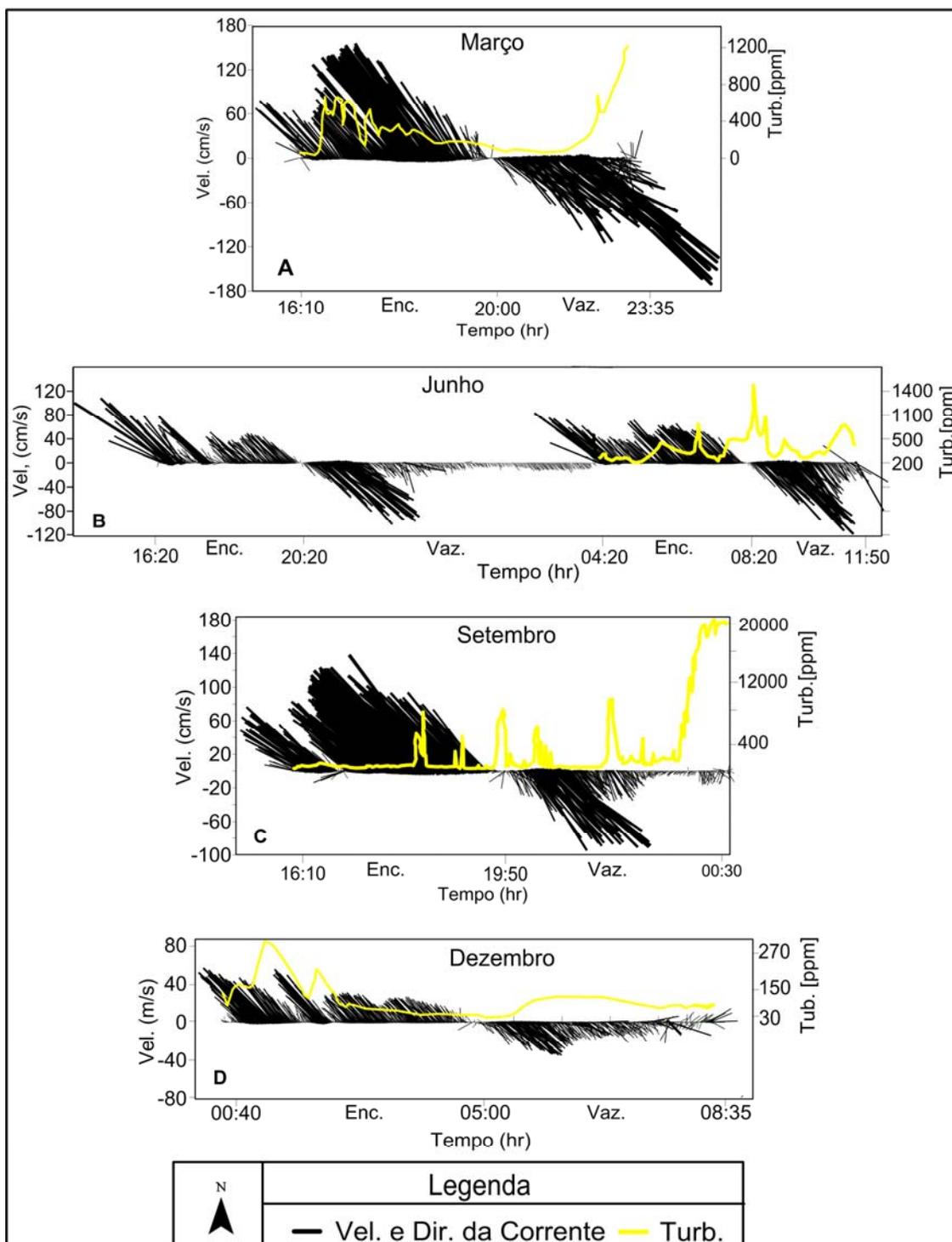


Figura 15 - Intensidade (cm/s), direção das correntes e turbidez (ppm) no canal de maré do Furo do Meio.

A correlação dos dados de turbidez foi realizada com os dados coletados em setembro, onde de acordo com os fatores de convenção utilizados em análises de água, 1 ppm equivale a 1 mg/L. Das cinco amostras coletadas, quatro foram validadas com a acurácia da calibração, já fornecido de fábrica, do equipamento (<http://ocean.jfe->

[advantech.co.jp](http://advantech.co.jp)), que gira em torno de mais ou menos 10 ppm ou 10 mg/L. A exceção foi a amostra coletada às 17:50 que excedeu em torno de 30 ppm (figura 16), ou seja, a validação ficou em torno de 90%.

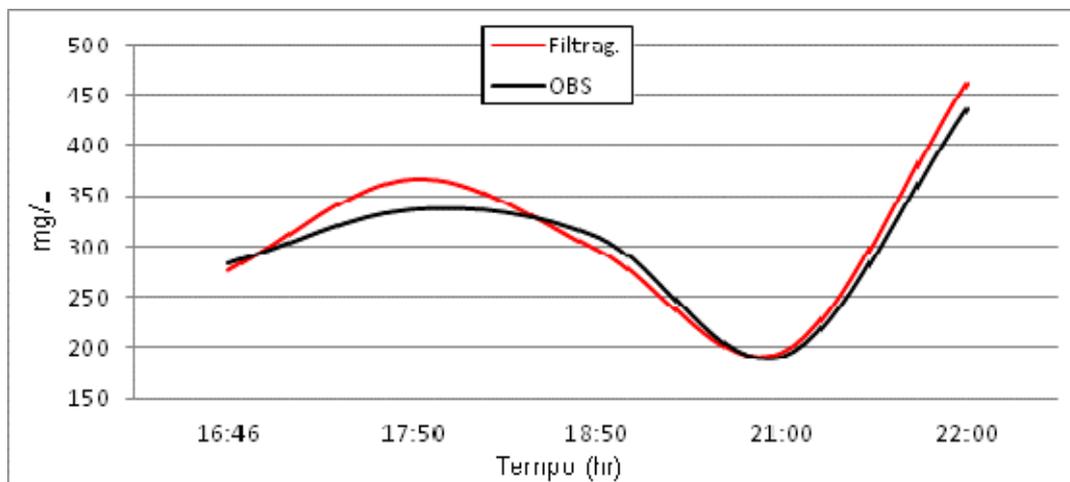


Figura 16 - Comparação da concentração de sólidos em suspensão estimada com base nas medições do OBS com os dados da filtragem da água.

A temperatura não apresentou significantes variações se comportando estáveis ao longo do ano, porém a temperatura denotou uma variação expressiva entre as estações chuvosa e menos chuvosa. Cohen (et al., 1999) e Monteiro (2009), verificaram a mesma relação em dados coletados no Furo do Meio e na Vila dos Pescadores próximo a foz do estuário do Caeté respectivamente.

A salinidade e a temperatura no mês de março permaneceram praticamente constantes ao longo do ciclo de maré, com salinidade e temperatura em torno de 9 e 29°C respectivamente (figura 17 A).

Em setembro a variação da salinidade foi inversamente proporcional aos valores da temperatura, com uma salinidade média de 30 e uma temperatura média de 29°C (figura 17 B).

No mês de dezembro a salinidade apresentou um padrão bastante irregular nos valores, com a máxima em torno de 40 e a mínima de 15 (figura 17 C). Este comportamento pode ser explicado por provável entrada de água menos salina no canal de maré, onde a mesma atingiu a estação neste período, pois foi observado variações ao longo de três horas com alternância da direção do fluxo. No entanto neste período houve precipitação mínima quando comparado aos períodos anteriores de coleta, não

possibilitando uma possível justificativa deste fato verificado. Não descartando a possibilidade de possível erro do equipamento.

A correlação existente entre salinidade e turbidez verificada por Dyer, (1997) e Rao (et al., 2011), é bem evidente neste trabalho, onde valores de salinidade e turbidez são inversamente proporcionais, pois em março apresentou maior turbidez e menor salinidade e em setembro e dezembro as menores turbidez e as menores salinidades.

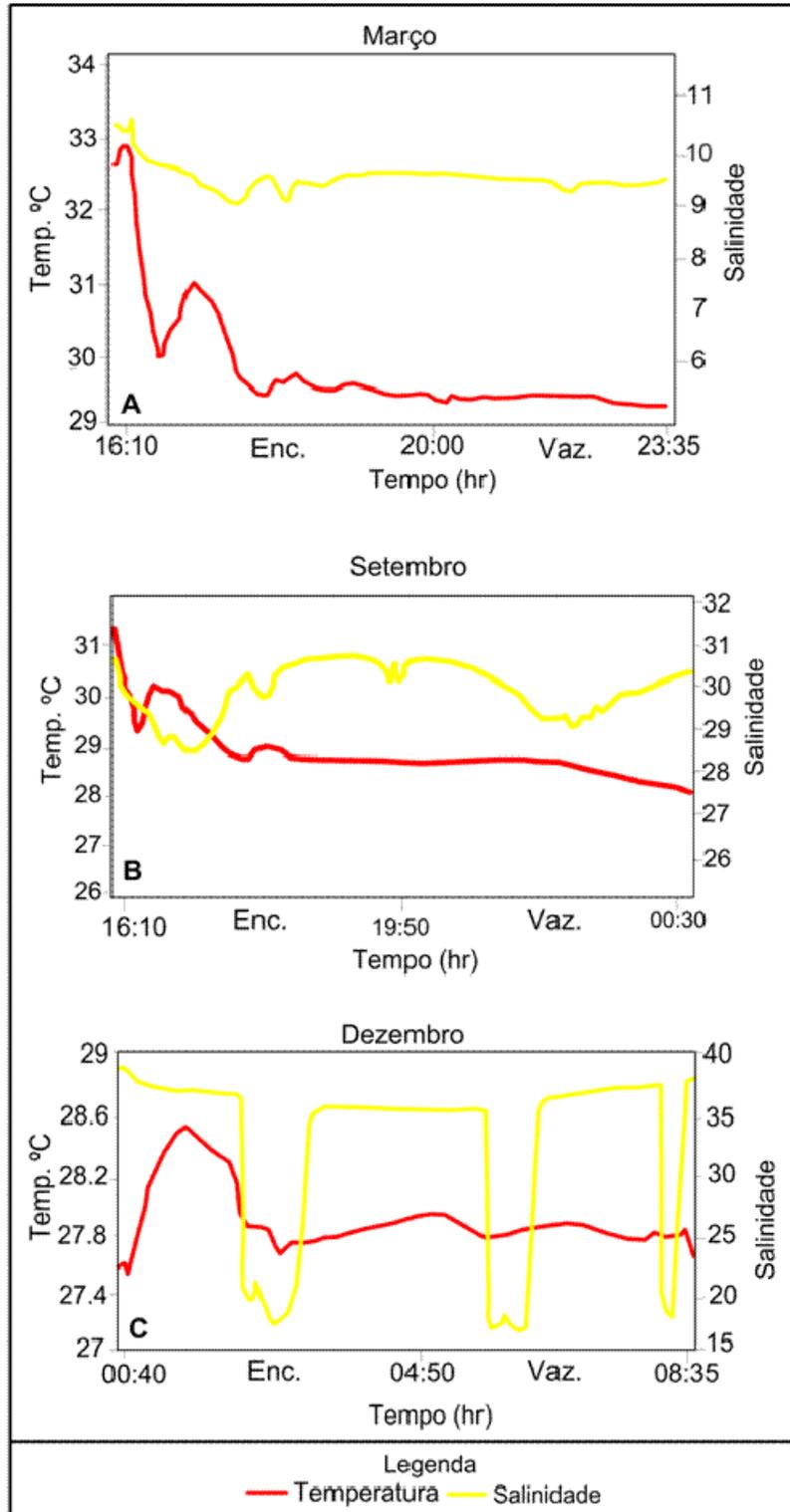


Figura 17- Variação dos valores das propriedades físico-química da água com a sazonalidade no canal de maré.

### 6.1.2 Mangue

As maiores intensidades de correntes foram verificadas nos meses equinociais, onde no mês de março foi em torno de 8 cm/s no momento da enchente e em setembro 4 cm/s na vazante. As mesmas relações de intensidade de corrente foram verificadas no levantamento do canal de maré do Furo do Meio e por Monteiro (2009) no estuário do Caeté, porém em períodos de marés opostos. Não houve significativas alterações na intensidade das correntes nos meses de julho e dezembro, onde permaneceram praticamente estáveis em torno de 2 cm/s em todo ciclo de maré dentro do mangue (figura 18).

As simetrias e amplitudes das marés são praticamente idênticas nos meses equinociais e entre julho e dezembro. Em março e setembro as marés foram simétricas com intervalo de tempo de aproximadamente 2 horas de enchente e 2 horas de vazante e com amplitude em torno de 1,2 metros. Em julho e dezembro o período de enchente foi em torno de 2 horas e o de vazante 1 hora com amplitude de 0,3 metros (figura 18).

Porém, Mazda et al. (1995), e Aucan e Ridd (2000) afirmaram que mesmo se as oscilações das marés em *offshore* forem simétricas, a maré em manguezais tornam-se altamente assimétricas, devido aos efeitos da vegetação local e da topografia.

De modo geral as correntes apresentaram fluxo caótico dentro da floresta de mangue, onde as direções das correntes não são bem definidas. Estas indefinições de direções segundo (Furukawa et al., 1997; Furukawa e Wolanski 1996; Kitheka et al., 2003; Mazda e Wolanski, 2009) entre outros são geradas pelo contato da água com a vegetação de mangue (principalmente raízes aéreas de *Rhizophora*) gerando a turbulência.

Kitheka (op. cit.) verificou que as elevadas turbulências em áreas próximas de canais e riachos de marés são atribuídas a elevada magnitude das velocidades nessas áreas. No entanto, há uma tendência para que a turbulência diminua progressivamente cada vez mais para dentro da floresta de mangue onde as magnitudes das velocidades são menores.

Valores de turbidez são baixos na entrada da maré no mangue, porém, estes valores aumentam com o decorrer do tempo. Em março a máxima turbidez foi verificada na enchente em torno de 24.000 ppm, mantendo-se próximo desse valor até o final da vazante. O mesmo comportamento foi verificado no mês de setembro, porém,

com valores um pouco menores onde a máxima turbidez ocorreu no estófo de maré com cerca de 21.700 ppm.

Julho e setembro também apresentaram curvas de turbidez parecidas, com valores máximos na vazante, onde em julho alcançou 20.300 ppm e em dezembro 1.000 ppm de turbidez (figura 18).

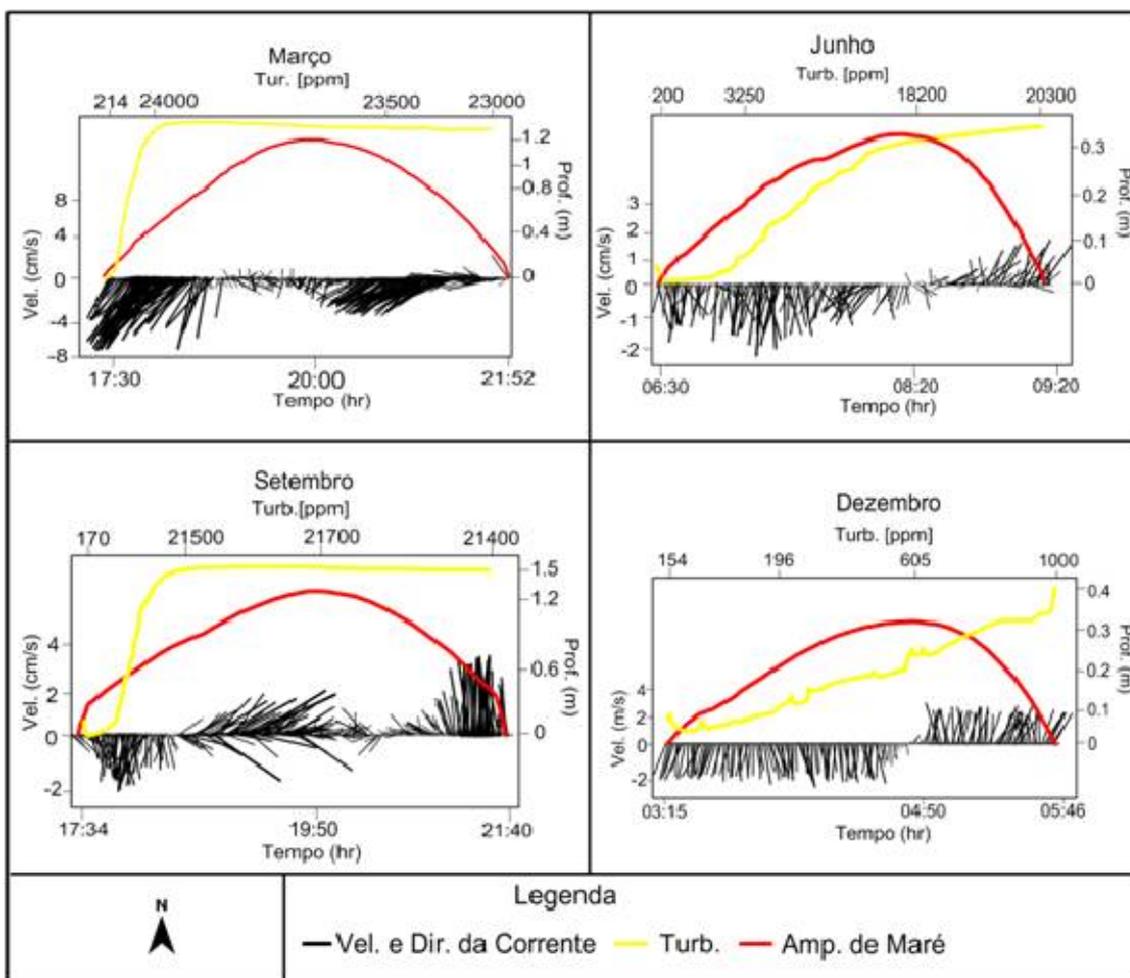


Figura 18 - Intensidade (cm/s) e direção das correntes, turbidez (ppm) e nível instantâneo da maré (metros) no mangue.

Os altos valores de turbidez estão associados com a sazonalidade da região, pois no período chuvoso os sedimentos permanecem umedecidos, o que facilita a ação das correntes para que ocorra a ressuspensão dos sedimentos, da mesma forma como verificado por Kitheka et al. (2003) e Santos (2005).

Furukawa e Wolanski (1996) verificaram que a velocidade de sedimentação dos sedimentos coesos constituídos de silte e argila são na ordem de 0,005 m/s e que mais

de 80% dos sedimentos ficam retidos na floresta de mangue, porém, Kitheka (op. cit) afirmam que este aprisionamento de sedimento é entre 27 e 65%.

Os dados físico-químicos verificados na área de mangue foram praticamente idênticos aos verificados no canal de maré com exceção do mês de dezembro que obteve um padrão praticamente homogêneo dos valores, variando de 27,1 a 27,5 a salinidade e de 35,6 a 36,1°C a temperatura (figura 19).

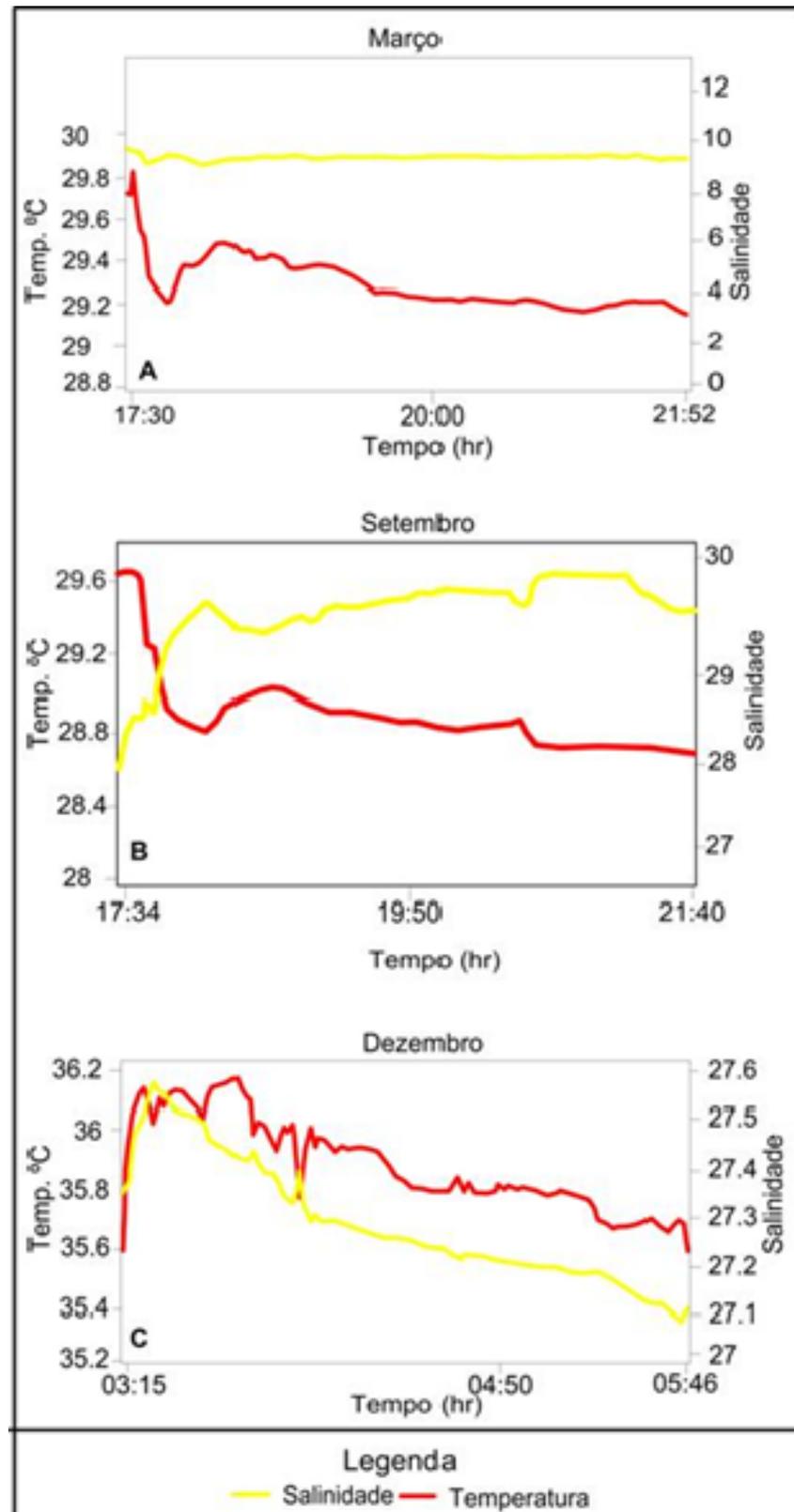


Figura 19 - Variação da temperatura e salinidade nos meses de março, setembro e dezembro.

## 6.2 ESTRUTURAS DE MEDIÇÃO DE COTA DO MANGUEZAL

Os valores das medições *in situ* das estruturas de medição de cota do manguezal revelaram as reais condições e ou evolução morfológica presenciada nesta área do manguezal. Na estrutura **I**, que está localizado na região mais interna do canal de maré, houve um acréscimo de sedimento em torno de 11 cm de março para julho, de julho a setembro este acréscimo foi de aproximadamente 6 cm e de setembro a dezembro foi de 2cm.

Na estrutura **II**, localizado na interface do canal com o dique, entre os meses de março e julho houve a acreção de sedimento de 6 cm, de julho a setembro um acréscimo em torno de 3 cm e de setembro a dezembro houve erosão de aproximadamente 1 cm.

A estrutura **III**, localizado dentro da floresta de mangue, não apresentou significativas mudanças nos seus valores verificados, onde entre os meses de março a julho houve um acréscimo de 1 cm de sedimento, entre julho e setembro foi erodido 1 cm e entre setembro e dezembro houve a acreção em torno de 0,5 cm.

Valores semelhantes foram verificados por (Santen et al., 2007) em um manguezal do estuário Lat Ba (Vietnam) na estação chuvosa, onde na zona pioneira formada por uma barra houve acréscimo de 12 cm e não houve nenhuma mudança morfológica entre as duas campanhas na zona vegetada como mostra na figura 20.

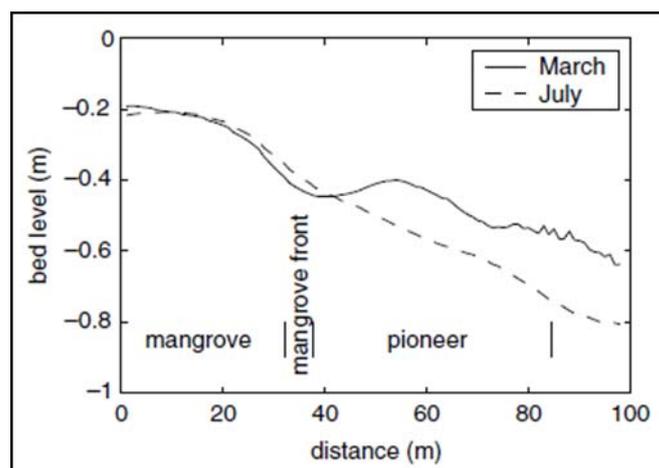


Figura 20 - Quantificação das modificações morfológicas verificadas por Santen et al. (2007).

### 6.3 TOPOGRAFIA

Topograficamente, o FDM é classificado como uma floresta de mangue do tipo **R**, pois apresenta todas as características deste tipo de floresta descrita por Lugo e Snedaker (1974), onde a principal destas características é de ser uma área essencialmente influenciada por maré, a qual desempenha uma importante função na formação da topografia das áreas entremarés, Mazda et al. (1995), Perillo (2009) e Bird (1930), denominou estas áreas de morfologia dominada por maré.

O monitoramento topográfico da área indicou que as mudanças morfológicas mais proeminentes ocorreram nas áreas marginais do canal de maré e que não houve mudanças morfológicas do substrato nas áreas de floresta de mangue, que permaneceram praticamente plana em toda sua extensão, situação também verificada no trabalho de Furukawa et al. (1997).

As modificações mais significativas ocorrerem entre os meses de março e julho, quando ficou mais evidente a evolução do processo acrecional nesta área. Sendo que entre os meses de julho e setembro ainda apresentou uma clara tendência de acreção, porém menos significativa que no período anterior e entre os meses de setembro e dezembro não foi evidenciado alteração na morfologia, onde as curvas topográficas praticamente se sobrepõem. Santen et al. (2007) verificou que o erro da medição associada com o nivelamento é geralmente em torno de 0,5 cm e o erro total é estimado na ordem de 2 a 3 cm, devido à falta de um ponto de referência.

Na porção sul, é bem evidente na morfologia a presença do dique marginal, o que não é presenciado na porção norte (figura 21). A peculiar topografia destas áreas de manguezal, segundo Mazda e Wolanski (2009) são resultantes e controladas pelos processos de dispersão e pela característica da vegetação do mangue, onde estas áreas de manguezais são os destinos dos sedimentos coesos carregados em suspensão e depois fixados no substrato, modificando então a morfologia, havendo a expansão e ou apenas a manutenção dessas zonas úmidas.

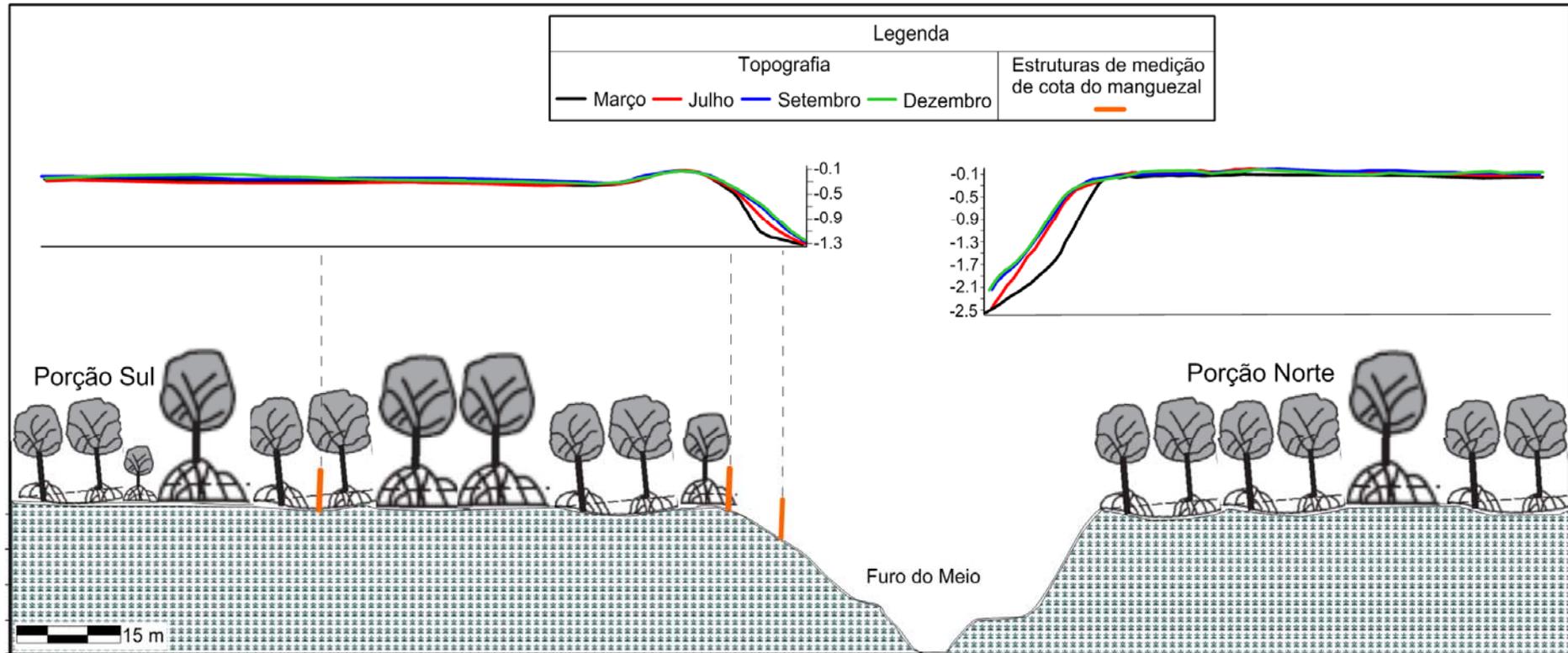


Figura 21 - Esquema ilustrativo dos resultados dos levantamentos topográficos realizados nos meses de março, julho, setembro e dezembro de 2011.

#### 6.4 SEDIMENTOS SUPERFICIAIS

A distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais para a porção ao sul do perfil mostrou que houve predominância de sedimento siltoso. Porém, ocorreu uma variação das classes texturais entre silte muito fino à silte grosso (figura 22). O que condiz com Gomes (2010) que realizou o levantamento dos sedimentos superficiais na Península de Bragança e obteve resultados que permitiu um mapeamento superficial satisfatório de toda a península e indicaram que os sedimentos são compostos essencialmente por silte variando de grosso a fino.

No canal de maré, em julho e setembro não houve alterações significativas no tamanho do grão, permanecendo silte fino em ambos os meses e variando de silte fino a silte grosso no mês de dezembro, enquanto que no mês de março o leito do canal apresentou sedimentação de areia fina (figura 22). Corroborando com Ridd & Stieglitz, (2002) averiguaram a presença de sedimentos arenosos em manguezal influenciado por maré. Porém, Bird (1930); Kithika et al. (2003); Capo et al. (2006); Santen et al. (2007), constataram em seus trabalhos que o sedimento arenoso presente em manguezal está associado a mangue degradado e / ou em mangue que sofre influência direta de ondas. Bird (op. cit.) ainda acrescenta que velocidades de correntes de cerca de 15 cm/s tem competência para carrear areia fina a média.

Na porção ao norte do perfil, o mês de julho seguiu o mesmo padrão dos setores anteriores, permanecendo na classe de silte médio. No mês de dezembro os sedimentos foram formados essencialmente de silte grosso, e nos meses de março e setembro apresentaram a mesma classe sedimentológica, com a predominância de areia fina nesta área (figura 22).

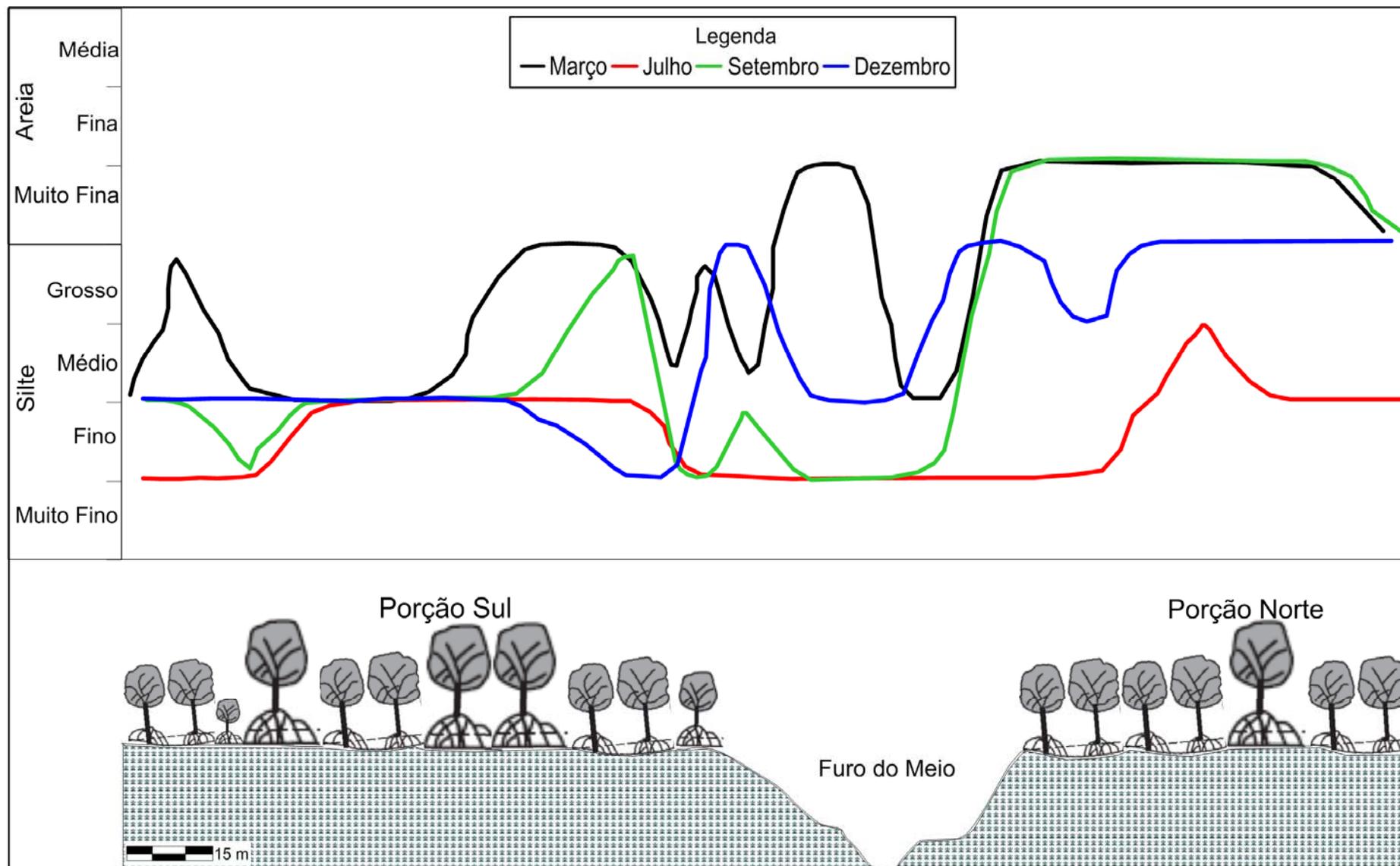


Figura 22 - Esquema ilustrativo mostrando a distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais dos meses do levantamento.

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstraram que existem pronunciadas diferenças de sazonalidade astronômica nas magnitudes das marés que induzem alterações na amplitude e nas correntes horizontais da água do manguezal. Onde as amplitudes máximas das marés equinociais ficaram em torno de um metro comparado com as marés de sizígia dos meses de julho e dezembro. Comportando-se simetricamente nas marés equinociais e assimetricamente nas marés de sizígia.

A turbidez verificada em ambas as unidades morfológicas mostra que não há exportação de sedimento da área do mangue para o canal de maré, pois os sedimentos são ressuspensos e redepositados no próprio mangue. O pico de turbidez ocorre na fase inicial da inundação nos meses equinociais e na ultima fase da maré vazante nos meses de julho e dezembro, demonstrando a eficiência de aprisionamento de sedimentos do manguezal.

Os dados físico-químicos do período estudado mostraram que a salinidade comportou-se como uma grandeza inversamente proporcional com a turbidez e sazonalidade da precipitação. Onde a precipitação favoreceu a remobilização de sedimento pela corrente de maré nos meses de março, julho e setembro, o que não ocorreu no mês de dezembro, devido à redução do índice pluviométrico de novembro e dezembro, com praticamente zero de precipitação.

Topograficamente, as modificações morfológicas foram mais significativas nas planícies dentro do canal de maré, onde se percebe que está ocorrendo o processo de assoreamento, corroborando com os dados de taxa de sedimentação adquiridos com as estruturas de medição de cota do manguezal.

A presença de areia no manguezal demonstra que o canal de maré do Furo do Meio possui competência hidrodinâmica de transportar e depositar sedimentos mais grossos nos meses equinociais na área do manguezal.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. W. M. 2007. *Aplicação do modelo hidrodinâmico no estuário do rio Caeté (NE do Pará)*. Dissertação (Mestrado em Geologia) Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- AKAMATSU, Y.; IKEDA S.; TODAC Y. 2009. Transport of nutrients and organic matter in a mangrove swamp *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(2): 233–242.
- ALEC. Disponível em: <<http://ocean.jfe-advantech.co.jp>>. Acesso em: 17/03/2011.
- ALLEN, J. R. L., DUFFY, M. J. 1998a. Medium-term sedimentation on high intertidal mudflats and salt marshes in the Severn Estuary, SW Britain: the role of wind and tide. *Mar. Geol.* **150**: 1–27.
- ALLEN, J. R. L., DUFFY, M. J. 1998b. Temporal and spatial depositional patterns in the Severn Estuary, southwestern Britain: intertidal studies at spring-neap and seasonal scales, 1991 – 1993. *Mar. Geol.* **146**: 147–171.
- AUCAN, J., RIDD, P. V. 2000 - Tidal asymmetry in creek surrounded by saltflats and mangroves with small swamp slopes. *Wetlands Ecol. Manag.* **8**: 223–231.
- AUGUSTINUS, P. G. E. F. 1995. Geomorphology and sedimentology of mangroves. In: PERILLO, G. (Ed.), *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Amsterdam: Elsevier. p. 333–357. (In developments in sedimentology, 53).
- BEHLING H.; COHEN M. C. L.; LARA R. J. 2000. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. *Palaeogeograph, Climatology, Ecology*, **167**: 225-242.
- BIRD, E. C. F., 1930. *Coastal geomorphology: an introduction*. 2 ed. England.
- BIRD, E. & BARSON, M. 1977. Measurement of physiographic changes on mangrove fringed estuaries and coastlines. *Marine Resources Indonesia* **18**: 73-80.
- BRITO, R. N. R. 2009. *Análise morfodinâmica do estuário do Taperaçu no Nordeste Paraense, Brasil e suporte para modelagem numérica*. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos) Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Bragança, Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Bragança.
- BUNT, J. S.; WILLIAMS, W. T., BUNT, E. D. 1985. Mangrove species distribution in relation to tide at the seafront and up rivers. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* **36**: 481–492.
- CAPO S., SOTTOLICHIO, A., BRENON I., CASTAING P., FERRY L. 2006. Morphology, hydrography and sediment dynamics in a mangrove estuary: The Konkoure Estuary, Guinea. *Marine Geology* **230**: 199–215

- CINTRON, G., NOVELLI, Y. S., 1984. Methods for studying mangrove structure. In: Snedaker, S. C., Snedaker, J.G. (Eds.), *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*, UNESCO, Paris, p. 91–113.
- COHEN, M. C. L.; LARA, R. J.; RAMOS, J. F. F.; DITTMAR, T. 1999. Factors influencing the variability of magnesium, calcium and potassium in waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil. *Mangroves and Salt Marshes* [S.I.], v. 3, p. 9-15.
- COHEN, M. C. L., SOUZA FILHO, P. W. M., LARA, R. J., BEHLING, H., & RODOLFO J. ANGULO. 2005. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (northern Brazil) *Wetlands Ecology and Management* **13**: 433–443.
- DAVIS, R. A. & HAYES, M. O. 1984. What is a wave-dominated coast? *Marine Geology* **60**: 313-329.
- Departamento de Hidrografia e Navegação – DHN. Tábua de maré para o município de Salinópolis. Disponível em <http://www.mar.mil.br/~dhn/tabuas>. Acesso em: jul. 2008.
- DINIZ, C. G. 2011. *Uso de imagens de Alta resolução, características espectrais e classificação orientada ao objeto no mapeamento de vegetação de manguezal*. Dissertação (Mestrado em Geologia) Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- DYER, K. R., 1997. *Estuaries, a Physical Introduction*, second ed. Wiley, Chichester, 195 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. Disponível em <http://www.fao.org> > Acesso em 24/06/2011
- FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E.; 1996. Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves Salt Marshes* **1**: 3–10.
- FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E.; MUELLER, H. 1997. Currents and sediment transport in mangrove forests. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **44**: 301–310.
- GOMES, J. G. 2009. *Efeitos da sedimentologia na distribuição e ecologia do caranguejo-uçá, na planície de Bragança*. Seminário de iniciação científica da UFPA (20.:2009:Belém), 516 p.
- JORGE, J. A. Eficácia de métodos de oxidação de matéria orgânica do solo para análise granulométrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, **4**: 118-121, 1980.
- KOBASHI, D., MAZDA, Y., 2005. Tidal flow in riverine-type mangroves. *Wetlands Ecol. Manag.* **13**: 615–619.

- KATHIRESAN, K. & BINGHAM, B. L. 2001 - Biology of mangrove and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*. **40**: 81-251
- KATHIRESAN, K. 2003 - How do mangrove forests induce sedimentation? *Rev. Biol. Trop.*, 51(2): 355-360.
- KITHEKA, J. U. (1996a). The dynamics of Mwache river basin sediment production and discharge and the flux of terrigenous sediments into the Port-Reitz Creek, Kenya. *WIOMSA MARG 1 (SC-298-012-5) Report*.
- KITHEKA, J. U. (1998). Groundwater outflow and its linkage to coastal circulation in a mangrove-fringed creek in Kenya. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47(1), 63–75.
- KITHEKA, J. U., ONGWENYI, G. S., CEDERLOF, U., RYDBERG, L., & MAVUTI, K. (2002). Suspended sediment transport and exchange in the main tidal channel fringing a mangrove creek (Mwache) in Kenya. *Journal of Coastal Research* (submitted for publication).
- LARA, R. J. & DITTMAR, T. 1999. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. *Mangroves and Salt Marshes*. **3**: 185-195.
- LUGO A. E. & SNEDAKER S. C. 1974. The ecology of mangroves. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **5**, 39–64.
- MARTORANO, I. G., et al. 1993. Estudos climatológicos do estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwhite, Mather). Belém: *sudam/embrapa, snlcs*, 53 p.
- MAZDA, Y., YOKOCHI, H., SATO, Y., 1990a. - Groundwater flow in the Bashitainato mangrove area, and its influence on water and bottom mud properties. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **31**: 621–638.
- MAZDA, Y., KANAZAWA, N., WOLANSKI, E., 1995. Tidal asymmetry in mangrove creeks. *Hydrobiologia* **295**:51-58.
- MAZDA, Y., KANAZAWA, N., KUROKAWA, T. 1999. Dependence of dispersion on vegetation density in a tidal creek-mangrove swamp system. *Mangroves and Salt Marshes* **3**: 59–66.
- MAZDA, Y., MAGI, M., NANAHO, H., KOGO, M., MIYAGI, T., KANAZAWA, N., KOBASHI, D., 2002. Coastal erosion due to long-term human impact on mangrove forests. *Wetlands Ecol. Manag.* **10**: 1–9.
- MAZDA, Y.; WOLANSKI, E.; RIDD, P. V. 2007a. The Role of Physical Processes in Mangrove Environments: *Manual for the Preservation and Utilization of Mangrove Ecosystems*. TERRAPUB, Tokyo, 598p.

- MAZDA, Y. & KAMIYAMA, K. 2007. Tidal deformation and inundation characteristics within mangrove swamps. *Mangrove Sci.* 4(5), 21–29.
- MAZDA, Y. & WOLANSKI, E. 2009. Hydrodynamics and Modeling of Water Flow in Mangrove Areas. *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier, p. 231.
- MEDEIROS, C. Q. & KJERFVE, B. 1993. Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36: 495-515.
- MONTEIRO, C. M. 2009. *Aspectos hidrodinâmicos, hidrológicos e microbiológicos do estuário do caeté-PA (Brasil)*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, p. 68.
- PARANHOS, R. 1996. Alguns métodos para análises da água. UFRJ, Sub-Reitoria de Ensino de graduação e corpo discente/ SR-1, il. – *cadernos didáticos UFRJ* (19). 200p.
- PERILLO, G. M. E. 2009. Tidal Courses: Classification, Origin and Functionality. *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier, p. 185.
- RAO, V. P., SHYNU, R., PRATIMA, M., KESSARKAR, D. SUNDAR, Michael, G. S., TANUJA, N., VIEGAS, B., PRAKASH, M. 2011. Suspended sediment dynamics on a seasonal scale in the Mandovi and Zuari estuaries, central west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91, 78-86.
- RIDD, P.V & STIEGLITZ, T. C. 2002. Dry season salinity changes in arid estuaries fringed by mangroves and saltflats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 54: 1039 – 1049.
- SANTEN, P. V. AUGUSTINUS, P. G.; JANSSEN-STELDER, B. M., QUARTEL, S. N. H. Tri. 2007. Sedimentation in an estuarine mangrove system, *Journal of Asian Earth Sciences* 29: 566–575.
- SILVA, C. G.; PATCHINEELA, S. M.; BATISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. 2004 - *Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa*. In: Batista Neto, J. A. & Ponzi, V. R. A. & SICHEL, S. E. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro, Interciência p.175-218.
- SILVA, C. A. R. & SAMPAIO, L. S., 1998. Speciation of phosphorus in a tidal floodplain forst in the Amazon estuary. *Mangroves and Salt Marches* 2: 51-57.
- SOUZA FILHO, P. W. M. 1995. *Influência das Variações do Nível do Mar na Morfoestratigrafia da Planície Costeira Bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências.
- SOUZA FILHO, P. W. M. & EL-ROBRINI, M. 1996. Mofologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da planície costeira bragantina, nordeste do Pará, Brasil. *Geonomos* 4: 2 p.1-16,

- SOUZA FILHO, P. W. M.; GONÇALVES, F. D.; de MIRANDA, F. P.; BEISL, C. H.; de FARIA ALMEIDA, E. 2004. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS 04. Proceedings. IEEE International.
- SOUZAFILHO, P. W., 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de geofísica* 23(4): 427-435
- SOUZA FILHO, P. W. M.; LESSA, G. C.; COHEN, M. C. L.; COSTA, F. R.; LARA, R. J. 2009. The Subsiding Macrotidal Barrier Estuarine System of the Eastern Amazon coast, Northern Brazil. In: Dillenburg, Sérgio F. & Hesp, Patrick A.. (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. 1 ed. New York: *Springer*. 1: 347-375.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 310p.
- SPALDING, M.; BLASCO, F.; FIELD, C. 1997. *World mangrove atlas*. ISME, Okinawa, 178p.
- SURFACE MAPPING SYSTEM. 2011. *Surfer 10. User's Guide*. Golden Software Inc.
- WALSH, J. P., & NITTROUER, C. A. 2004. Mangrove-bank sedimentation in a mesotidal environment with large sediment supply, Gulf of Papua, *Mar. Geol.* **208**: 225-248, p.123.
- WENTWORTH, C. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**: 377-392.
- WOLANSKI, E. & RIDD, P.V., 1986. Tidal mixing and trapping in mangrove swamps. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **23**: 759–771.
- WOLANSKI, E., MAZDA, Y. & RIDD, P. 1992. Mangrove hydrodynamics. In *Tropical mangrove ecosystems*, (Robertson, A. and Alongi, D., eds). *American Geophysical Union*, Washington, D. C., p. 436–462.
- WOLANSKI, E.; MAZDA, Y.; RIDD, P. V. 1992a. - Mangrove hydrodynamics. In: Robertson, A.I., Alongi, D.M. (Eds.), *Tropical Mangrove Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies 41*. *American Geophysical Union*, Washington, DC, p.43–62.
- WOLANSKI, E., GIBBS, R.J., MAZDA, Y., MEHTA, A., KING, B., 1992b. The role of turbulence in the settling of mud flocs. *J. Coast. Res.* **8** (1), 35–46.
- WOLANSKI, E. 1994. *Physical Oceanographic Processes of the Great Barrier Reef*. CRC Press, Boca Raton, 194 p.

- WOLANSKI, E., 1995. Transport of sediment in mangrove swamps. *Hydrobiology*, 295 p.
- WOLANSKI, E., SPAGNOL, S., AYUKAI, T., 1998. Field and model studies of the fate of particulate carbon in mangrove-fringed Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes* 2: 205–221.
- WOLANSKI, E., MAZDA, Y., FURUKAWA, K., RIDD, P.V., KITHEKA, J., SPAGNOL, S., STIEGLITZ, T. 2001. Water circulation in mangroves, and its implications for biodiversity. In: Wolanski, E. (Ed.), *Oceanographic Processes of Coral Reefs*, CRC Press, London, p.53–76.
- WOLANSKI, E., BOORMAN, L. A., CHICHARO, L., LANGLOIS-SAL, E., LARA, R., PLATER, A. J., UNCLES, R. J., ZALEWSKI, M., 2004. Ecohydrology as a new tool for sustainable management of estuaries and coastal waters. *Wetlands Ecol. Manag.* 12: 235–276.
- WOLANSKI, E., 2006a. *The application of ecohydrology for sustainable development and management of mangrove-dominated estuaries*. The ICEMAN Mangrove Conference in Kuala Lumpur.
- WOODROFFE C. D. 1982. Geomorphology and development of Mangrove swamps, Grand Cayman Island, West Indies. *Bull. Mar. Sci.* 32(2): 381–398.
- WOODROFFE, C. 1992. Mangrove sediments and geomorphology. In: Tropical Mangrove Ecosystems, A.I. Robertson and D.M. Alongi (eds). *Coastal and Estuarine Studies* 41, American Geophysical Union, Washington DC.